

EUR 2167.d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT — EURATOM

**ENTWICKLUNG UND UNTERSUCHUNG
EINES RADIOAKTIVEN INDIKATORVERFAHRENS
ZUR MESSUNG DER KINETIK,
DER EROSION UND DES SANDTRANSPORTES
AN SANDIGEN BRANDUNGSKÜSTEN**

von

R. DOLEZAL und M. PETERSEN

(Landesamt für Wasserwirtschaft Schleswig-Holstein)

H. BECKER, H. GÖTTE, G. SCHULZE-PILLOT und E. THOMSCHKE

(Farbwerke Hoechst AG)

B. BÖTTCHER

(Isotopenlaboratorium der Staatlichen Ingenieurschule)

K. H. NACHTIGALL und E. SEIBOLD

(Geologisches Institut der Universität Kiel)

1965



Bericht abgefasst vom Landesamt für Wasserwirtschaft
Schleswig-Holstein, Kiel — Deutschland

Euratom-Vertrag Nr. 009-62-12 IRAD

HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Euratomkommission, ihre Vertragspartner und alle in deren Namen handelnden Personen :

- 1° — keine Gewähr dafür übernehmen, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind oder dass die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstösst ;
- 2° — keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

Die Namen der Autoren sind in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt.

Dieser Bericht wird zum Preise von 200,— bfrs. verkauft.
Bestellungen sind zu richten an : PRESSES ACADEMIQUES
EUROPEENNES — 98, chaussée de Charleroi, Brüssel 6.

Die Zahlung ist zu leisten durch Überweisung an :

- die BANQUE DE LA SOCIETE GENERALE (Agence Ma Campagne) — Brüssel — Konto Nr. 964.558 ;
- die BELGIAN AMERICAN BANK AND TRUST COMPANY — New York — Konto Nr. 22.186 ;
- die LLOYDS BANK (EUROPE) Ltd. — 10, Moorgate, London E.C.2,

als Bezug ist anzugeben : « EUR 2167.d — ENTWICKLUNG UND UNTERSUCHUNG EINES RADIOAKTIVEN INDIKATORVERFAHRENS ZUR MESSUNG DER KINETIK, DER EROSION UND DES SANDTRANSPORTES AN SANDIGEN BRANDUNGSKÜSTEN ».

Gedruckt von Vaillant-Carmanne S. A., Lüttich.
Brüssel, Juli 1965.

EUR 2167. d

ENTWICKLUNG UND UNTERSUCHUNG EINES RADIOAKTIVEN INDIKATORVERFAHRENS ZUR MESSUNG DER KINETIK, DER EROSION UND DES SANDTRANSPORTES AN SANDIGEN BRANDUNGSKÜSTEN von R. DOLEZAL (1), M. PETERSEN (1), H. BECKER (2), H. GÖTTE (2), G. SCHULZE-PILLOT (2), E. TOMSCHKE (2), B. BÖTTCHER (3), K. H. NACHTIGALL (4), und E. SEIBOLD (4)

- 1 — Landesamt für Wasserwirtschaft Schleswig-Holstein
- 2 — Farbwerke Hoechst AG
- 3 — Isotopenlaboratorium der Staatlichen Ingenieurschule
- 4 — Geologisches Institut der Universität Kiel

Europäische Atomgemeinschaft — EURATOM

Bericht abgefasst vom Landesamt für Wasserwirtschaft

Schleswig-Holstein, Kiel (Deutschland)

Euratom-Vertrag Nr. 009-62-12 IRAD

Brüssel, Juli 1965 — 156 Seiten — 83 Abbildungen

In einer Reihe von zehn Studien wird eine Übersicht über Entwicklung und Untersuchung eines radioaktiven Indikatorverfahrens zur Messung der Kinetik der Erosion und des Sandtransportes an sandigen Brandungsküsten gegeben.

EUR 2167. d

DEVELOPMENT AND TESTING OF A RADIOACTIVE TRACER METHOD FOR MEASURING THE KINETICS OF EROSION AND SAND DISPLACEMENT CAUSED BY SURF by R. DOLEZAL (1), M. PETERSEN (1), H. BECKER (2), H. GÖTTE (2), G. SCHULZE-PILLOT (2), E. TOMSCHKE (2), B. BÖTTCHER (3), K. H. NACHTIGALL (4), and E. SEIBOLD (4)

- 1 — Landesamt für Wasserwirtschaft Schleswig-Holstein
- 2 — Farbwerke Hoechst AG
- 3 — Isotopenlaboratorium der Staatlichen Ingenieurschule
- 4 — Geologisches Institut der Universität Kiel

European Atomic Energy Community — EURATOM

Report prepared by the « Landesamt für Wasserwirtschaft

Schleswig-Holstein », Kiel (Germany)

Euratom Contract No. 009-62-12 IRAD

Brussels, July 1965 — 156 pages — 83 figures

EUR 2167. d

DEVELOPMENT AND TESTING OF A RADIOACTIVE TRACER METHOD FOR MEASURING THE KINETICS OF EROSION AND SAND DISPLACEMENT CAUSED BY SURF by R. DOLEZAL (1), M. PETERSEN (1), H. BECKER (2), H. GÖTTE (2), G. SCHULZE-PILLOT (2), E. TOMSCHKE (2), B. BÖTTCHER (3), K. H. NACHTIGALL (4) and E. SEIBOLD (4)

- 1 — Landesamt für Wasserwirtschaft Schleswig-Holstein
- 2 — Farbwerke Hoechst AG
- 3 — Isotopenlaboratorium der Staatlichen Ingenieurschule
- 4 — Geologisches Institut der Universität Kiel

European Atomic Energy Community — EURATOM

Report prepared by the « Landesamt für Wasserwirtschaft

Schleswig-Holstein », Kiel (Germany)

Euratom Contract No. 009-62-12 IRAD

Brussels, July 1965 — 156 pages — 83 figures

EUR 2167. d

DEVELOPMENT AND TESTING OF A RADIOACTIVE TRACER METHOD FOR MEASURING THE KINETICS OF EROSION AND SAND DISPLACEMENT CAUSED BY SURF by R. DOLEZAL (1), M. PETERSEN (1), H. BECKER (2), H. GÖTTE (2), G. SCHULZE-PILLOT (2), E. TOMSCHKE (2), B. BÖTTCHER (3), K. H. NACHTIGALL (4) and E. SEIBOLD (4)

- 1 — Landesamt für Wasserwirtschaft Schleswig-Holstein
- 2 — Farbwerke Hoechst AG
- 3 — Isotopenlaboratorium der Staatlichen Ingenieurschule
- 4 — Geologisches Institut der Universität Kiel.

European Atomic Energy Community — EURATOM

Report prepared by the « Landesamt für Wasserwirtschaft

Schleswig-Holstein », Kiel (Germany)

Euratom Contract No. 009-62-12 IRAD

Brussels, July 1965 — 156 pages — 83 figures

Die Einzelstudien beziehen sich auf :

1. Die Bedeutung von radioaktiv markiertem Sand für wasserwirtschaftliche Aufgaben.
2. Die bekannten Untersuchungen zur Sandbewegung mit radioaktiven Indikatoren.
3. Verfahren zur Oberflächenbehandlung von natürlichem Sand mit Radionukliden.
4. Entwicklung eines Sandgefäßes, eines Abschirmbehälters (als B-Verpackung) und einer Hubschrauber Traverse zum Transport von aktivem Seesand.
5. Risiko und notwendige Schutzmaßnahmen bei der Anwendung von Radioisotopen.
6. Die Messung der Sandwanderung in der Brandungszone mit Scandium 46, Meßbericht I, Ostsee.
7. Die Messung der Sandwanderung in der Brandungszone mit Scandium 46, Meßbericht II, Nordsee (Westerland).
8. Die Messung der Sandwanderung in der Brandungszone mit Scandium-46, Meßbericht III, Nordsee (Kampen auf Sylt).
9. Die Untersuchungen der Sandwanderung mit fluoreszierenden Leitstoffen in der Brandungszone.
10. Entwicklung und Untersuchung eines radioaktiven Indikatorverfahrens zur Messung der Kinetik der Erosion und des Sandtransportes an sandigen Brandungsküsten — Schlußbericht.

The development and testing of a radioactive tracer method for measuring the kinetics of erosion and sand displacement caused by surf on sandy coasts are reviewed in a set of ten studies, under the following headings :

1. The value of radioactively-labelled sand in tasks connected with the water economy.
2. Recorded investigations of sand movements with radioactive tracers.
3. Methods for surface treatment of natural sand with radionuclides.
4. Development of a container and shielding (for B-packaging) for the transportation of active seasand with helicopter together with a remote-controlled opening and closing device.
5. Hazards and safeguards required where radioisotopes are used.
6. Measuring sand drift in the surf area with scandium-46, Measurement Report No. I, Baltic Sea.
7. Measuring sand drift in the surf area with scandium-46, Measurement Report No. II, North Sea/Westerland.
8. Measuring sand drift in the surf area with scandium-46, Measurement Report No. III, North Sea/Kampen on Sylt.
9. Studies of sand drift in the surf area, using fluorescent tracer substances.
10. Development and testing of a radioactive tracer method for measuring the kinetics of erosion and sand displacement caused by surf — final report.

The development and testing of a radioactive tracer method for measuring the kinetics of erosion and sand displacement caused by surf on sandy coasts are reviewed in a set of ten studies, under the following headings :

1. The value of radioactively-labelled sand in tasks connected with the water economy.
2. Recorded investigations of sand movements with radioactive tracers.
3. Methods for surface treatment of natural sand with radionuclides.
4. Development of a container and shielding (for B-packaging) for the transportation of active seasand with helicopter together with a remote-controlled opening and closing device.
5. Hazards and safeguards required where radioisotopes are used.
6. Measuring sand drift in the surf area with scandium-46, Measurement Report No. I, Baltic Sea.
7. Measuring sand drift in the surf area with scandium-46, Measurement Report No. II, North Sea/Westerland.
8. Measuring sand drift in the surf area with scandium-46, Measurement Report No. III, North Sea/Kampen on Sylt.
9. Studies of sand drift in the surf area, using fluorescent tracer substances.
10. Development and testing of a radioactive tracer method for measuring the kinetics of erosion and sand displacement caused by surf — final report.

The development and testing of a radioactive tracer method for measuring the kinetics of erosion and sand displacement caused by surf on sandy coasts are reviewed in a set of ten studies, under the following headings :

1. The value of radioactively-labelled sand in tasks connected with the water economy.
2. Recorded investigations of sand movements with radioactive tracers.
3. Methods for surface treatment of natural sand with radionuclides.
4. Development of a container and shielding (for B-packaging) for the transportation of active seasand with helicopter together with a remote-controlled opening and closing device.
5. Hazards and safeguards required where radioisotopes are used.
6. Measuring sand drift in the surf area with scandium-46, Measurement Report No. I, Baltic Sea.
7. Measuring sand drift in the surf area with scandium-46, Measurement Report No. II, North Sea/Westerland.
8. Measuring sand drift in the surf area with scandium-46, Measurement Report No. III, North Sea/Kampen on Sylt.
9. Studies of sand drift in the surf area, using fluorescent tracer substances.
10. Development and testing of a radioactive tracer method for measuring the kinetics of erosion and sand displacement caused by surf — final report.

EUR 2167.d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT — EURATOM

ENTWICKLUNG UND UNTERSUCHUNG
EINES RADIOAKTIVEN INDIKATORVERFAHRENS
ZUR MESSUNG DER KINETIK,
DER EROSION UND DES SANDTRANSPORTES
AN SANDIGEN BRANDUNGSKÜSTEN

von

R. DOLEZAL (1), M. PETERSEN (1), H. BECKER (2),
H. GÖTTE (2), G. SCHULZE-PILLOT (2), E. TOMSCHKE (2),
B. BÖTTCHER (3), K. H. NACHTIGALL (4), und E. SEIBOLD (4)

- 1 — Landesamt für Wasserwirtschaft Schleswig-Holstein
- 2 — Farbwerke Hoechst AG
- 3 — Isotopenlaboratorium der Staatlichen Ingenieurschule
- 4 — Geologisches Institut der Universität Kiel

1965



Bericht abgefasst vom Landesamt für Wasserwirtschaft
Schleswig-Holstein, Kiel — Deutschland

Euratom-Vertrag Nr. 009-62-12 IRAD

ALLGEMEINE INHALTSÜBERSICHT

	<i>Seite</i>
Studie Nr. 1	3
Über die Bedeutung von radioaktiv markiertem Sand für wasserwirtschaftliche Aufgaben von M. PETERSEN	
Studie Nr. 2	15
Über die bekannten Untersuchungen zur Sandbewegung mit radioaktiven Indikatoren von M. PETERSEN	
Studie Nr. 3	19
Verfahren zur Oberflächenmarkierung von natürlichem Sand mit Radionukliden von H. GÖTTE und H. BECKER	
Studie Nr. 4	27
Entwicklung eines Sandgefäßes, eines Abschirmbehälters (als B-Verpackung) und einer Traverse zum Transport von aktivem Seesand von M. PETERSEN, G. SCHULZE-PILLOT und E. THOMSCHKE	
Studie Nr. 5	45
Risiko und notwendige Schutzmassnahmen bei der Anwendung von Radioisotopen von M. PETERSEN	
Studie Nr. 6	57
Messung der Sandwanderung in der Brandungszone mit Scandium 46 — Messbericht I, Ostsee von M. PETERSEN, B. BÖTTCHER und R. DOLEZAL	
Studie Nr. 7	87
Messung der Sandwanderung in der Brandungszone mit Scandium 46 — Messbericht II, Nordsee/Westerland von M. PETERSEN, B. BÖTTCHER und R. DOLEZAL	
Studie Nr. 8	115
Messung der Sandwanderung in der Brandungszone mit Scandium 46 — Messbericht III, Nordsee/Kampen auf Sylt von M. PETERSEN, B. BÖTTCHER und R. DOLEZAL	
Studie Nr. 9	129
Untersuchungen der Sandwanderung mit fluoreszierenden Leitstoffen in der Brandungszone von E. SEIBOLD und K. H. NACHTIGALL	
Studie Nr. 10	147
Entwicklung und Untersuchung eines radioaktiven Indikatorverfahrens zur Messung der Kinetik der Erosion und des Sandtransportes an sandigen Brandungsküsten von M. PETERSEN	

STUDIE Nr. 1

ÜBER DIE BEDEUTUNG VON RADIOAKTIV MARKIERTEM SAND
FÜR WASSERWIRTSCHAFTLICHE AUFGABEN

von M. PETERSEN

I N H A L T

	<i>Seite</i>
1 — Einleitung	4
2 — Herkömmliche Untersuchungsmethoden	5
3 — Anwendung der Radionuklid-Methode	6
3.1 — Markierung des Versuchsmaterials	6
3.2 — Bäche, Flüsse, Seen	6
3.3 — Flußmündungen	7
3.4 — Brandungsküsten	7
3.5 — Schelfmeere	7
3.6 — Häfen	8
3.7 — Baggerungen	8
3.8 — Kläranlagen	8
3.9 — Modellversuche	8
3.10 — Durchflußmessungen	9
4 — Die Nullrate	9
5 — Ausblick	9
6 — Verzeichnis der Studien 1-10	10
Schrifttum	10

1 — EINLEITUNG

Die Aufgabe der Wasserwirtschaft besteht in der zielbewußten Ordnung aller menschlichen Einwirkungen auf das ober- und unterirdische Wasser.

Das durch Strömung oder Wellen bewegte Wasser vermag das Gewässerbett in seiner Form zu verändern : es kann Material von der Gewässersohle oder vom Ufer lösen (erodieren), nach seiner Kornzusammensetzung in einzelne Fraktionen sortieren, diese entsprechend rollend, hüpfend oder schwebend transportieren und wieder absetzen (sedimentieren).

Mit den zunehmenden Ansprüchen an die Nutzung des natürlichen, unberührten Gewässers sind grundlegende Kenntnisse über die Bewegung der Feststoffe und die dabei wirksamen Kräfte Voraussetzung für funktionell richtige Planungen.

Sowohl die einzelnen in bestimmter Wechselwirkung vorhandenen natürlichen Kräfte als auch die gesamte Naturlandschaft unterliegen Veränderungen, die sich als Folgen der mehr und mehr erweiterten Anlagen für Schifffahrt, Industrie, Fremdenverkehr, kommunale Betriebe zur Ableitung von Schmutzwasser, Landwirtschaft usw. ergeben.

Wenn die eingeleitete Entwicklung in gewünschten Bahnen abläuft, besteht kein Anlaß, sorgenvollen Gedanken nachzugehen. Leider treten aber hier und dort unerwartete Erscheinungen auf. Nicht selten wird nach einiger Zeit festgestellt, daß nicht beabsichtigte Veränderungen im Gewässer, einer Kettenreaktion vergleichbar, zu mehr oder weniger umfangreichen Folgemaßnahmen materieller und finanzieller Art zwingen. Beispiele hierfür sind die schon fast vollständig versandete Durme, ein Nebenfluß der Schelde in Belgien, und die versandete Eider in Schleswig-Holstein (Sedimentationen) oder die fortschreitende Vertiefung von Bächen und Flüssen sowie der Abbruch an verschiedenen Küstenabschnitten (Erosionen).

Die verantwortlichen Stellen haben erkannt, daß solche Entwicklungen möglichst schon vor der Realisierung eines Projektes zumindest größenordnungsmäßig abgeschätzt und entsprechend berücksichtigt werden müßten. Planende Behörden, wissenschaftliche Institute, Verbände und Betriebe schufen deshalb Einrichtungen, deren Aufgabe es ist, zuverlässige Grundlagen für Entwurf und Durchführung von wasserwirtschaftlichen Objekten zu erarbeiten.

Die verfügbaren Arbeitsmethoden waren zunächst verhältnismäßig einfach. Sie entsprachen im allgemeinen den gestellten Aufgaben. Erst in jüngerer Zeit wurde die Fragestellung in Bereiche gelenkt, wo mit herkömmlichen Verfahren keine ausreichenden Antworten mehr gegeben werden konnten.

Folgerichtig traten zu den qualitativen Aussagen über den Sedimenttransport nunmehr Wünsche, die auf genauere Erklärungen der Bewegungsvorgänge und schließlich auf die quantitative Erfassung des Transportes hinzielen.

Wegen der komplexen Beziehungen in der Hydromechanik werden systematische Untersuchungen und planmäßig durchzuführende Messungen in der Natur gefordert. Diese sind noch wichtiger als die zweifellos wertvollen Messungen und Beobachtungen im hydraulischen Modell und die theoretisch-hydrodynamischen Berechnungen unter Vorgabe angenommener, variabler Randbedingungen.

Die Hydrometrie folgte dem wissenschaftlich-technischen Fortschritt. Ihr Weg führte von den mechanischen Meßgeräten eindeutig weiter in Richtung auf die in der Elektrotechnik und — neuerdings in der Isotopentechnik — liegenden Möglichkeiten [51, 52, 53].

Die Aufgabe eines Forschungsvertrages zwischen EURATOM und dem Land Schleswig-Holstein ist es, solche modernen Mittel anzuwenden, um ein Verfahren mit radioaktiv markiertem Sand zur Messung der Kinetik der Erosion und des Sandtransportes an sandigen Brandungsküsten zu erarbeiten und zu erproben.

Im Rahmen dieser Betrachtung soll unter Sand der Begriff Feststoff im weiteren Sinne verstanden werden, einschließlich der Schwebstoffe von meist mineralischer Natur. Sand ist also auch dem im Schrifttum gebräuchlichen Ausdruck Sediment gleichzusetzen.

Die Bedeutung der radioaktiven Markierung für wasserwirtschaftliche Aufgaben soll zunächst im Vergleich mit herkömmlichen Untersuchungsmethoden und anschließend an bekannten Anwendungsbeispielen erläutert werden. In einem weiteren Abschnitt wird gezeigt, inwiefern die Nullrate in der Hydrometrie eine bemerkenswerte Rolle spielt.

2 — HERKÖMMLICHE UNTERSUCHUNGSMETHODEN

In den Anfängen begnügte sich die Schifffahrt mit Lotungen und Peilungen. Es entstanden Segelanweisungen, nach denen die Häfen angesteuert werden konnten. Die ersten Karten für die Schifffahrt — ab etwa 1500 — sind bereits als Ergebnisse von Vermessungen anzusehen. Wenn diese auch zunächst recht ungenau vorgenommen worden sind, so bedeutet ihre kartographische Darstellung doch eine brauchbare Hilfe für damalige Verhältnisse.

Einzelne Querschnitte wurden (und werden auch heute noch) in bestimmten Abständen ausgelotet und in Tiefenplänen kartiert. Diese veranschaulichen dann mehr oder weniger repräsentativ die Formen des Gewässerbettes zu einem bestimmten Zeitpunkt wie eine Momentaufnahme. Bei umfangreicheren Vermessungsarbeiten, deren Durchführung einen längeren Zeitraum in Anspruch nimmt, werden kurzperiodische Formänderungen nicht oder nur zufällig erfaßt.

Vergleiche neuerer Tiefenpläne mit älteren Plänen oder Karten können mit entsprechenden Vorbehalten Hinweise auf gewisse Entwicklungstendenzen ergeben und qualitative Aussagen über den Sedimenttransport ermöglichen.

Etwa seit Ende des vorigen Jahrhunderts setzen hier und dort vertiefende Untersuchungen z.B. morphologischer, hydrologischer, geologischer und ozeanographischer Art ein. Grundlagen-Forschungen und angewandte Forschungen treten in echte Wechselbeziehungen zu einander. Die Zahl der sich an dieser Entwicklung beteiligenden Ingenieure nimmt zu.

Neue mechanisch arbeitende Geräte werden erdacht, gebaut, erprobt und eingesetzt. Es wird versucht, den Vorgang und Umfang der Erosion, des Transportes und der Sedimentation zu messen oder über gemessene Werte durch Rechnung zu bestimmen. Stets aber ist Wasser das Transportmittel für die verfrachteten Substanzen [7, 48].

Gemessen werden Richtung und Geschwindigkeit der Strömung, Wasserstände, in Suspension befindliche Stoffe [72], an der Gewässersohle bewegte Sande, Kiese und Gerölle [5, 21, 54]. Arbeiten auf dem Gebiete der Hydromechanik folgen oder entstehen unabhängig von den Messungen [15, 20, 36, 64, 75].

Die Beobachtungen in der Natur erhalten neue Anregungen, als man gefärbtes Glas auf die Gewässersohle ausschüttet und durch Tauchen versucht, seine Wanderung zu verfolgen [69, 70].

Von Geologen wird die Sedimentpetrographie als Untersuchungsmittel eingesetzt [57, 66].

Versuche in hydraulischen Modellen ergänzen die Untersuchungen in der Natur, und über die qualitative Aussage der Modellergebnisse führt der Weg wiederum zu genaueren Messungen im Gewässer, um den natürlichen Verhältnissen möglichst nahe zu kommen und um die Modellwerte ohne allzu große Fehler in die Natur übertragen zu können [18, 24, 34, 56].

Die Messungen werden z.B. an der Küste weiter ausgedehnt auf die Wellen in ihren verschiedenen Erscheinungsformen : Wind- und Dünungswellen, Seegang, Brandung, Wellenrichtung, Wellenhöhe, Wellenperiode. Theoretische Untersuchungen laufen auch hierzu parallel [4, 61].

Auf das Markierungsverfahren, dem Sand gefärbtes Glas als Indikator beizugeben, folgt einige Jahre später die Luminoforenmethode : Mit lumineszierenden Farbstoffen markierte Substanzen leuchten in der beigegebenen Farbe auf, wenn sie mit ultraviolettem Licht angestrahlt werden. Jedes markierte Korn hebt sich dann deutlich von seiner Umgebung ab, so daß der Anteil an Luminoforen in einer Bodenprobe gezählt werden kann. Die Analysenergebnisse geben Aufschluß über die zeitliche und örtliche Ausbreitung der markierten Teststoffe, wobei die mit der Probenentnahme verbundenen Zufälligkeiten zu berücksichtigen sind [1, 2, 76, 77].

Etwa zu derselben Zeit wird die radioaktive Markierung von Teststoffen in den Dienst der Hydrometrie gestellt [17]. Diese werden mit radioaktiven Isotopen derart markiert, daß sie selbst energiereiche Strahlen aussenden. Die Strahlen werden mit empfindlichen Geräten auch unter Wasser gemessen. Der Bereich, in dem sich die künstlichen Aktivitäten nach bestimmten Zeitabschnitten ausgebreitet oder verteilt haben, wird ermittelt und in Plänen mit Isoimpulslinien kartiert [23, 35, 37].

Bemerkenswert ist, daß die Radionuklid-Methode fast gleichzeitig in mehreren Erdteilen anläuft und sehr schnell auf den verschiedensten Gebieten angewendet wird.

3 — ANWENDUNG DER RADIONUKLID-METHODE

3.1 — Markierung des Versuchsmaterials

Das Material wird markiert durch bestimmte Radionuklide, die entweder in den künstlichen Träger eingeschlossen werden (zum Beispiel in Glas ; der Träger wird bis zu den für das Gewässer typischen Korngrößen zerkleinert) oder mit denen der Träger in einer dünnen Schicht überzogen wird.

Beim ersten dieser Markierungsverfahren werden die Beschaffenheit der Oberflächen und das spezifische Gewicht des Testmaterials in gewisser Weise verändert, so daß es nicht ganz mit den im Untersuchungsgebiet vorhandenen Stoffen übereinstimmt. Zweifel, ob sich die so markierten Materialien tatsächlich wie der Natursand verhalten, führten zu Beginn der Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprogrammes zu der Entwicklung eines neuen Markierungsverfahrens.

Die in der Natur angetroffenen Sedimente werden unmittelbar radioaktiv markiert. Jedes Korn behält seine Form und seine physikalischen Eigenschaften bei. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung für die Richtigkeit quantitativer Angaben über verfrachtete Sedimentmengen erfüllt.

Daß sich die Radionuklid-Methode sehr schnell einen beachtlichen Platz in der modernen Hydrometrie erobern konnte, liegt auch an den außerordentlich vielseitigen und variablen Einsatzmöglichkeiten. Für ein bestimmtes Gewässer spielt die richtige Wahl des zweckmäßigsten Isotops aus der Reihe der überhaupt für solche Zwecke verwendbaren eine entscheidende Rolle, insbesondere, weil die Halbwertzeiten so verschieden sind. Sie reichen praktisch von wenigen Tagen bis zu einigen Jahrzehnten [12, 43, 44, 45, 46, 73].

Die Anwendung der Radionuklid-Methode ermöglicht ein Anpacken zahlreicher Fragenkomplexe, die bisher kaum beachtet wurden und aus methodischen Gründen nicht genügend bearbeitet werden konnten. Es handelt sich besonders um folgende :

3.2 — Bäche, Flüsse, Seen

Der Sedimenttransport in Bächen und Flüssen muß bekannt sein, wenn irgendwelche Eingriffe in den natürlichen, vielleicht für eine wasserwirtschaftliche Benutzung wenig

geeigneten Wasserlauf vorgenommen werden sollen. Bei der Verlegung eines Gewässerbettes, bei Stauanlagen für die Regelung des Abflusses, für die Energiegewinnung, für die Schifffahrt, für die Reinhaltung des Gewässers usw. ist die Kenntnis von Erosions- oder Sedimentationsgebieten erforderlich, sowie der Bedingungen, die solche Erscheinungen verursachen [39, 42, 62].

So sind Kraftwerksbetriebe daran interessiert, sedimentfreies Wasser durch die Turbinen zu schicken.

In natürlichen und künstlichen Seen (Talsperren) soll der verfügbare Wasserraum, um einen möglichst großen Retentionseffekt erzielen oder um einen Teil der Wassermenge für Kraftgewinnung, Schifffahrt, Trinkwasserversorgung oder dergleichen nutzen zu können, möglichst konstant bleiben und nicht mit Feststoffen aufgefüllt werden.

3.3 — Flußmündungen

Die hydrographischen Probleme in Ästuarien sind meist komplexer Natur — eine Erscheinung, die sich auch auf die wasserwirtschaftliche Praxis auswirkt. Hier wechseln Richtung und Stärke der Strömung, Dichte und Turbulenz des Wassers je nach Wetterlage; im Gezeitenbereich sind sie noch überlagert von dem kosmisch bedingten Rhythmus von Ebbe und Flut.

Das Erkennen der natürlichen kinetischen Bedingungen für den Sedimenttransport ist entsprechend schwieriger. Wenn nun noch künstlich auf dieses lebendige, leicht veränderliche System eingewirkt wird, erscheint es fast unmöglich, die dynamischen Vorgänge zutreffend beurteilen und die Grenzen des Zulässigen richtig abschätzen zu können.

Der Schlickfall in Häfen, Nebenflüssen [32] und Wasserstraßen einer Brackwasserzone sowie die Verlagerung von Sänden, Platen und Barren, von Gatts, Fahrwasserrinnen und Prielen, der Bau von Molen, Buhnen, Leitwerken und Leuchttürmen, die Verlegung von Kabeln (für elektrischen Strom, Telefon) und anderen Versorgungsleitungen (Wasser, Öl), die Abriegelung von Flüssen durch Sperrwerke und von Ästuarien (wie in den Niederlanden die Deltawerke) werfen Fragen über Sedimentbewegung und Sedimenthaushalt auf, die zu beantworten sind.

3.4 — Brandungsküsten

Zu den Problemen in den Flußmündungen kommen an der Küste noch die Wirkungen der Brandungskräfte hinzu. Aus der Vielzahl der zu berücksichtigenden Faktoren und deren Wechselbeziehungen geht hervor, daß einzelne stichprobenartige Meßwerte nur selten allgemein gültige Deutungen zulassen.

Wegen des enormen Aufwandes wird es oft nicht möglich sein, alle Einflüsse, Kräfte und Wirkungen in einem Küstenabschnitt je für sich zu messen. Deshalb wird es aus praktischen Gründen zunächst darauf ankommen, integrierende Methoden anzuwenden, um mit solchen Ergebnissen die zum Schutze der Meeresufer gegen Erosion als notwendig erachteten Bauwerke mit vertretbarem Risiko planen und erstellen zu können.

An verschiedenen Erosionsküsten ist bereits damit begonnen worden, die Unterbilanz an Sand durch Vorspülen mittels Bagger auszugleichen. Der Spülbetrieb kann erst rationell arbeiten, wenn das größenordnungsmäßig richtige Maß für die Fehlmenge über eine repräsentative Zeitspanne gefunden worden ist [8].

3.5 — Schelfmeere

In den letzten Jahrzehnten sind eingehendere Untersuchungen auch auf die Bodenbedeckung der Schelfmeere ausgedehnt worden. Dort befinden sich auf weiten Flächen mehr

oder weniger große Rippeln aus Sand. Bisher konnte nur in besonderen Fällen der eindeutige Nachweis erbracht werden, wie solche Formen entstehen und sich verändern.

Im Interesse sowohl des Küstenschutzes als auch der Offenhaltung der Zufahrtswege zu den Seehäfen wird zu prüfen sein, ob und wie Sand gegen die Küste und Ästuarien transportiert und dort sedimentiert oder weiterverfrachtet wird. Eine weitere Frage geht dahin, ob und wie an der Küste erodierter und von den Flüssen fortgeschwemmter Sand auf dem Boden des Meeres abgelegt wird, ohne dann noch nennenswerte Transportwege zu durchwandern.

Solche Kenntnisse können auch für die Aufstellung von Hubinseln von entscheidender Bedeutung sein, die zum Bohren von Öl und Erdgas oder zur Errichtung eines Leuchtturmes auf weit vorgeschobenem Posten eingesetzt werden.

3.6 — Häfen

Bei der Planung, beim Bau und Betrieb von Häfen haben sich die verantwortlichen Stellen wohl ausnahmslos mit dem Verhalten der Sedimente in derartigen künstlichen Anlagen zu befassen. Bekanntlich sind oft unverhältnismäßig hohe Kosten aufzuwenden, um die in einem Hafen oder vor der Einfahrt abgelagerten Sedimentmassen zu baggern, irgendwohin unschädlich zu verklappen oder auf besonders hergerichtete Felder zu spülen.

3.7 — Baggerungen

Erosionen und Sedimentationen an natürlichen und künstlichen Wasserstraßen als Folge schädlicher Einwirkungen durch starken und schnellen Schiffsverkehr oder durch sonstige Störungen des natürlichen Gleichgewichts sind zunächst hinsichtlich Ursache und Ausmaß durch Messungen einzugrenzen und dann durch geeignete Maßnahmen möglichst vollständig auszuschalten.

Eine wichtige Aufgabe fällt hierbei den Baggergeräten zu. Neben anderen Problemen der Baggerbetriebe interessiert die Antwort auf die Frage: Wie wird der hydraulische Transport von Feststoffen (eventuell verschiedener Art und Zusammensetzung) am wirtschaftlichsten in Rohrleitungen durchgeführt?

Wenn Baggergut verklappt wird, so ist wichtig zu wissen, ob es an der Klappstelle oder in deren unmittelbarer Nähe liegen bleibt. Das Baggergut sollte nach dem Verklappen jeweils unter Kontrolle genommen werden.

Seitdem alle Sedimentarten radioaktiv markiert und künstliche Aktivitäten von natürlichen durch Messung mit empfindlichen Geräten unterschieden werden können, dürften sich auch neue Wege für das Baggereiwesen anbahnen.

3.8 — Kläranlagen

Die im Schmutzwasser schwebenden Feststoffe werden in Kläranlagen zum größten Teil zurückgehalten und in Form von Schlamm zum Absetzen gebracht. Fehlschläge im Reinigungseffekt können auf Verstopfung, ungünstiger Konstruktion, auf dem Betrieb einer Anlage oder dergleichen beruhen. Über Untersuchungen und Kontrollen von Kläranlagen mit radioaktiv markierten Substanzen stehen bereits Erfahrungen zur Verfügung [6, 33, 38, 58, 59, 60, 67].

3.9 — Modellversuche

Zahlreiche der vorgenannten Probleme können durch Grundsatzversuche am hydraulischen Modell angefaßt werden. Auch hierfür sind Radionuklide geeignete Untersuchungs-

mittel. Da die Zeitmaßstäbe im Vergleich zu den Beobachtungen in der Natur wesentlich verkürzt werden, kommen für Modellversuche nur Nuklide mit sehr kurzer Halbwertszeit in Frage [11].

3.10 — Durchflußmessungen

Weitere interessante Möglichkeiten für die Wasserwirtschaft, radioaktive Tracer anzuwenden, können genutzt werden, um Angaben über den Fließvorgang in einem Wasserlauf zu bekommen für die Planung von Hafenanlagen, Brücken und Fähren, für die Beurteilung von Havariefällen oder für die Erforschung des Durchmischungsprozesses bei Abwasser-Einleitungen [3, 25, 55, 71].

Die Grundwasserstände sind in Brunnen mit einfachen Geräten einwandfrei zu messen. Schwierigkeiten bereitet die Beobachtung des Grundwasser-Abflusses im Boden. Auch hier kann die Radioaktiv-Methode eine wertvolle Hilfe sein. Selbstverständlich muß ein geeignetes Nuklid unter Beachtung der Bestimmungen des Strahlenschutzes ausgewählt werden. Dabei dürfen die zulässigen Grenzen nicht überschritten werden, denn als oberster Grundsatz gilt, daß das vorhandene Trink- und Tränkwasser gesund und genießbar bleiben muß [13, 14, 16, 19, 22, 40, 41, 47, 73].

4 — DIE NULLRATE

Es ist eine bekannte Tatsache, daß viele Stoffe von Natur aus strahlen. Solche natürlichen Strahlen lassen sich mit empfindlichen Geräten sicher nachweisen. Feinere Kornfraktionen strahlen intensiver als gröbere, Schlick und Schlamm stärker als Sand. Verschiedene Bodenstrukturen können von einander abweichende Meßwerte haben.

Für wasserwirtschaftliche Aufgaben wäre noch die Eigenschaft des Wassers zu nennen, daß es Strahlen abzuschirmen vermag : je tiefer das Wasser, desto größer ist die Abschirmung.

Die Anwendung von radioaktiv markierten Substanzen setzt deshalb voraus, daß die vorstehenden Faktoren bei der Aufbereitung der Meßwerte und bei der Deutung der Aktivitäten entsprechend den ihnen zukommenden Gewichten berücksichtigt werden [26, 27, 29, 63].

Nun kann die natürliche Strahlung [65] durch Einleitung radioaktiver Abwässer in Flüsse, Seen oder Küstengewässer erhöht werden [50, 67]. Ferner ist der Einfluß der radioaktiven Stoffe, die bei Bombenexplosionen unkontrollierbar in die Atmosphäre gelangen und mit den Niederschlägen als Fallout auf die Erde zurückkehren und in die Gewässer fließen, zu beachten, weil vor allem die langlebigen Nuklide im Schlamm und Schlick festgehalten oder auch gespeichert werden können [9, 10, 28, 30, 31, 49, 68].

Aus diesen Gründen sind vor dem Einsatz von künstlichen Strahlern jeweils sorgfältige Messungen der im Untersuchungsbereich schon vorhandenen Strahlung durchzuführen. Diese wird als Nullrate bezeichnet ; sie geht in die Rechnung ein.

5 — AUSBLICK

Die Außerordentlich vielseitigen wasserwirtschaftlichen Aufgaben bieten ein weites Arbeitsfeld für die Anwendung des Radionuklid-Verfahrens an.

Für die zutreffende Auswertung von Messungen ist es erforderlich, dass dem Meßleiter bekannt ist, ob und in welchem Umfang an anderer Stelle des Gewässers mit markierten Substanzen gearbeitet wird. Die Schaffung von zentralen Meldestellen muß deshalb nachdrücklich gefordert werden.

Das Forschungsprogramm EURATOM-Land Schleswig-Holstein stellt in dem großen Bereich eine begrenzte Teilaufgabe dar, und zwar auf dem Gebiete der *Sedimentver-*

frachtung an sandigen Brandungsküsten. Wenn die Darstellungen im Rahmen dieses Programmes auch Anregungen zu weiteren Untersuchungen vermitteln werden, so sehen die Mitarbeiter des Arbeitsteams dies als im Sinne ihrer gemeinsamen Arbeit liegend an.

6 — VERZEICHNIS DER STUDIEN 1-10

- Studie Nr. 1 : Über die Bedeutung von radioaktiv markiertem Sand für wasserwirtschaftliche Aufgaben.
M. Petersen
- Studie Nr. 2 : Über die bekannten Untersuchungen zur Sandbewegung mit radioaktiven Indikatoren.
M. Petersen
- Studie Nr. 3 : Verfahren zur Oberflächenmarkierung von natürlichem Sand mit Radionukliden.
H. Götte und H. Becker
- Studie Nr. 4 : Entwicklung eines Sandgefäßes, eines Abschirmbehälters und einer Traverse zum Transport von aktivem Seesand.
M. Petersen, G. Schulze-Pillot und E. Thomschke
- Studie Nr. 5 : Risiko und notwendige Schutzmaßnahmen bei der Isotopenanwendung.
M. Petersen
- Studie Nr. 6 : Meßbericht I, Ostsee.
M. Petersen, B. Böttcher und R. Dolezal
- Studie Nr. 7 : Meßbericht II, Nordsee, Westerland/Sylt.
M. Petersen, B. Böttcher und R. Dolezal
- Studie Nr. 8 : Meßbericht III, Nordsee, Kampen/Sylt.
M. Petersen, B. Böttcher und R. Dolezal
- Studie Nr. 9 : Untersuchungen der Sandwanderung mit fluoreszierenden Leitstoffen in der Brandungszone.
E. Seibold und K. H. Nachtigall
- Studie Nr. 10 : Schlußbericht mit einer Zusammenfassung und den Ergebnissen der Untersuchungen.
M. Petersen

SCHRIFTTUM

- 1 — N. AJBULATOV, V. BOLDYREV und H. GRIESSEIER — Das Studium der Sedimentbewegung in Flüssen und Meeren mit Hilfe von lumineszierenden Farbstoffen und radioaktiven Isotopen. *Peterm. Mitt.*, H. 3, 177-186 und H. 4, 254-263, 1961.
- 2 — N. AJBULATOV, H. GRIESSEIER und J. SADRIN — Über den Sedimenttransport längs einer unregelmäßig gegliederten Meeresküste. *Akta Hydrophysica*, VIII, H. 1, 5-21, 1963.
- 3 — F. W. BÄHR — Wassergeschwindigkeitsmessungen mit Hilfe radioaktiver Isotope. *Die WaWi*, 52, H. 8, 222, 1962.
- 4 — R. A. BAGNOLD — Sand Movement by Waves : Some Small-Scales Experiments with Sand of Very Low Density. *Journal of The Institution of Civil Engineers*, 4, 1947.

- 5 — Erich BLAU — Neuzeitliche Meßverfahren zur laufenden Überwachung der Flußsohle. Schriftenreihe Wasser- und Grundbau. Mitt. d. Forschungsanst. f. Schiffahrt, Wasser- und Grundbau, Berlin, H. 1, 35-50, 1961.
- 6 — J. BOSCH — Methoden u. Geräte zur Messung der Radioaktivität in Wasser und Abwasser. Ber. d. Abwassertechn. Ver., H. 11, 1960.
- 7 — Per BRUUN — Coastal research and its economic justification. Geografisk Tidsskrift, 59, 1959.
- 8 — Per BRUUN, F. ASCE and F. GERRITSEN — Natural By-passing of sand at coastal inlets. The Dock u. Harbour Authority, 485, 378-381, 1961.
- 9 — W. BUCHNER — Kontinuierliche Messung radioaktiver Substanzen in Wasser. Atompraxis, 3, H. 10, 405-407, 1957.
- 10 — W. BUCKSTEEG und F. DIETZ — Radioaktivitätsmessungen im Einzugsgebiet der Ruhr. I. Mitteilung : Über die Kontamination der Oberflächenwässer sowie des Trinkwassers. GWF., 101, H. 34, 856-859, 1960.
- 11 — J. M. CALDWELL — Development and tests of a radioactive sediment density probe. Beach Erosion Board, Techn. Mem., 121, 1960.
- 12 — W. CHRIST — Kernphysikalische u. kernchemische Probleme auf dem Gebiet der Wasserwirtschaft. WaWi-Watechn., 6, H. 7, 211-216, 1956.
- 13 — H. W. FEELY, A. WALTON und Ch. R. BARNETT — Radioisotope uses in the treatment and distribution of water supplies. (Verwendung von Radioisotopen bei der Reinigung und der Verteilung des Versorgungswassers.) Journ. Americ. Water Works Assoc., 55, 2, 193-199, 1963.
- 14 — H. CÖTTE — Das Problem der Verunreinigung von Trink- und Brauchwasser durch radioaktive Stoffe. GWF., H. 2, 42, 1956.
- 15 — W. GRIJM — Theoretical Forms of Shorelines. Coastal Engineering, 1, 197-202, 1961.
- 16 — A. GRAUBY et P. RAIMBAULT — La surveillance de la radioactivité des eaux. Problèmes posés par la mesure et l'exploitation des résultats. L'Eau, 5, 307-313, 1963.
- 17 — G. GRANDCLEMENT — Des radioéléments traceurs en hydrologie et en hydraulique. L'Eau, 5, 293-300, 1963.
- 18 — Hanskarl, GUTSCHE — Über den Einfluß von Strandbuhnen auf die Sandwanderung an Flachküsten. Mitt. d. Franzius-Inst., H. 20, 74-211, 1961.
- 19 — H. HARTH — Die Abhängigkeit der Radioaktivität in Wasserläufen und im Grundwasser von Niederschlag, Vegetation und Boden der Einzugsgebiete. DGM., Sonderheft, 31-35, 1960.
- 20 — W. HENSEN — Über den Wert der Kenntnis der wahren Gestalt einer Flußsohle. Die WaWi., 1, 14-17, 1948/49.
- 21 — W. HENSEN — Untersuchung der Lüdersschen Sandfalle. Mitt. d. Franzius-Inst., H. 18, 205-231, 1960.
- 22 — D. E. HULL und M. MACOMBER — Flow Measurements by the total count Method. Proceedings of the II.U.N. Intern. Conf. on Peaceful Uses of the ALEW, 1956.
- 23 — Pierre JAFFRY et Richard HOURS — L'étude du transport littoral par la méthode des traceurs radioactifs. Cahiers océanographiques du C.O.E.C., XI, 7, 1959.
- 24 — R. JOHNSEN — Wechselbeziehungen zwischen der Welle und dem strandnahen Unterwasserhang. Großmodellversuche und eine neue Anschauung über das Sandriffproblem. Veröff. d. Forschungsanst. f. Schiffahrt, Wasser- und Grundbau, 9, 1961.
- 25 — K. JORDAN — Direktmessung radioaktiver Substanzen in Flüssigkeiten. Atompraxis, 3, H. 10, 398-402, 1957.

- 26 — H. KAUTSKY und D. E. SCHMITT — Ein Verfahren zur Bestimmung kleiner α - und β -Aktivitäten in Meerwasser. *Atompraxis*, 9, 1963.
- 27 — Hans KAUTSKY — Über Herkunft, Verteilung und Nachweismöglichkeit künstlich radioaktiver Stoffe im Meer. *D.H.Z.*, 14, H. 4, 121-135, 1961.
- 28 — Hans KAUTSKY — Probleme der Überwachung des Meerwassers auf radioaktive Beimengungen. *Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung*. BMwF, III, 213-226, 1962.
- 29 — H. KAUTSKY und D. E. SCHMITT — Eine Bestimmungsmethode für die radioaktiven Isotope α und β in Meerwasser. *DHZ*, 15, H. 5, 199-204, 1962.
- 30 — H. KIEFER und R. MAUSHART — Möglichkeiten zur Radioaktivitätsüberwachung im Meerwasser. *DHZ*, 14, H. 1, 11-16, 1961.
- 31 — H.-A. KLEIN — Messung und Überwachung der Radioaktivität im Elbwasser. *Die WaWi.*, 47, 249-252, 1957.
- 32 — H.-A. KLEIN — Beobachtung des Schlicktransportes in einem Tidefluß mit Hilfe radioaktiver Leitstoffe (Oste-Messungen 1959). *Die WaWi.*, 50, H. 4, 95-101, 1960.
- 33 — E. KNOP — Messung der Durchlaufzeiten von Klärbecken mit Hilfe von radioaktiven Stoffen. *Die WaWi.*, 41, H. 5, 117-121, 1951.
- 34 — O. KOLP und Charl. ENZENROSS — Über einige Laborerfahrungen bei der Kennzeichnung von Meeressand mit lumineszenten Farbstoffen. *Beiträge zur Meereskunde*, Dt. Akademie d. Wissensch. Berlin, H. 1, 27-38, 1961.
- 35 — W. KUMPF, B. DIETRICH und J. KUMPF — Radioaktive Substanzen und Wasser — Eine Dokumentation. 2. Aufl., München, 1960.
- 36 — Daniel LAVAL — Atterrissement en mer, dans les estuaires, dans les chenaux, dans les bassins à marée, dans les bassins à flot et dans les canaux maritimes. XIX^e Congrès International de Navigation. S. II — C 3, London, 65-80, 1957.
- 37 — LÜDERS, HENSEN, KLEIN, KRAMER, MAGENS, PETERSEN, SCHULZ und STRÖHL — Methoden zur Bestimmung der Sand- und Schlickbewegung entlang den Küsten, in den Flußmündungen und den Tideflüssen. Anwendung moderner Mittel wie radioaktive Isotope, Luminophore usw. *Dt. Ber. z. XX. Internat. Schiffahrtskongreß Baltimore*, 1961.
- 38 — N. T. MITCHELL, K. R. BRENDISCH und G. E. EDEN — Das Verhalten von Radioisotopen in Entwässerungsleitungen. *Jour. u. Proc. Inst. of Sewage Purification*, 6, 586-91, 1962.
- 39 — N. T. MITCHELL and G. E. EDEN — Radioactive Strontium in the River Thames (Radioaktives Strontium im Themse-Wasser). *J. Inst. Water Engineers*, 16, 2, 175-187, 1962.
- 40 — A. MONTENS — Die Verwendung von radioaktiven Isotopen bei Strömungs- und Geschwindigkeitsmessungen. *GWF*, 93, H. 14, 411-414, 1952.
- 41 — A. MONTENS — Radioaktive Isotopen bei der Messung von Fließvorgängen. *Die Bautechnik*, 32, H. 9, 297-301, 1955.
- 42 — A. MONTENS — Strömungsuntersuchungen in Stauseen mit radioaktiven Isotopen. *Die Umschau*, 58, H. 15, 459-461, 1958.
- 43 — A. MONTENS — Die Verwendung von Radioisotopen in der Hydrologie und Hydraulik. *Atompraxis*, 5, 91-93 u. 182-187, 1959.
- 44 — H. MOSER und F. NEUMAIER — Die Anwendung radioaktiver Isotope in der Hydrologie. *GWF*, 99, H. 14, 324-325, 1958.

- 45 — H. MOSER und F. NEUMAIER — Über die Anwendung von radioaktiven Indikatoren in der Hydrologie. DGM, H. 2, 25-29, 1961.
- 46 — H. MOSER und W. RAUERT — Die Anwendung radioaktiver Isotope in der Hydrologie. Atomkernenergie, 5, 419-25 u. 462-71, 1960.
- 47 — R. NEUWIRTH — Diskontinuierliche Messung radioaktiver Substanzen in Wasser. Atompraxis, 3, H. 10, 402-404, 1957.
- 48 — W. NIEBUHR, JANSSEN, KRAUSE, MÜLLER, SCHREIER und WALTHER — Richtung und Gestaltung der Zufahrten zu den Seehäfen und Verbesserung der Schifffahrtsrinne bis ins tiefe Wasser. — Vertiefung und Erhaltung der Tiefen, Einfluß von Strömungen, Wellen, Wind und Sandbewegungen. Dt. Berichte z. XX. Intern. Schifffahrtkongreß Baltimore, 1961.
- 49 — A. PFAU — Allgemeine Betrachtungen zur Messung und Überwachung der Radioaktivität im Wasser. Atompraxis, 3, H. 10, 389-398, 1957.
- 50 — PÖPEL — Der Kongreß über wissenschaftliche Fragen der Kernspaltung in Cleveland (Ohio). GWF., H. 4, 159-160, 1956.
- 51 — G. PRÖPSTL — Anwendung von radioaktiven Isotopen in der Technik. VDI-Ztschr., 102, H. 4, 1960.
- 52 — G. PRÖPSTL — Anwendung von radioaktiven Isotopen. Wasser u. Boden, 12, 4, 110-112, 1960.
- 53 — J. L. PUTMAN — Neue Entwicklungen in der industriellen Anwendung von radioaktiven Isotopen. Atompraxis, 3, 2, 55, 1957.
- 54 — PUTMAN, MUNK und TRAYLOR — The prediction of longshore currents. Transactions American Geophysical Union, 30, 3, 337-345, 1949.
- 55 — H. RAMDOHR — Strömungsuntersuchungen mit radioaktiven Nukliden. GWF., 10, H. 34, 853-855, 1960.
- 56 — R. REINALDA — Scale effects in models with littoral sand-drift. Coastal Engineering, 1, 318-325, 1961.
- 57 — H. E. REINECK — Über Sandverlagerungen im Bereiche des nassen Strandes. Jber. d. Forschungsst. Norderney, XII, 13-26, 1960/61.
- 58 — M. RUF — Das Verhalten radioaktiver Substanzen im Abwasser und Vorfluter unter Berücksichtigung eigener Erfahrungen. In : Gifte und radioaktive Substanzen im Abwasser. Münchener Beitr. z. Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, 7, 192-207, 1960.
- 59 — M. RUF — Die verschiedenen Nachweismethoden ionisierender Strahlen im Abwasser und Vorfluter. In : Gifte u. radioaktive Substanzen im Wasser. Münchener Beitr. z. Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, 7, 155-159, 1960.
- 60 — M. RUF — Untersuchungen über das Verhalten radioaktiver Substanzen in Oberflächengewässern und Abwässern. GWF., 103, H. 28, 713-721, 1962.
- 61 — R. C. H. RUSSEL — Coast Erosion and Defence. Nine Questions and Answers. Department of Scientific and Industrial Research, Hydraulics Research Paper Nr. 3, 1960.
- 62 — K. SAUERWEIN — Leitisotopen-Untersuchungen in Gewässern. DGM., Sonderheft, 23-28, 1958.
- 63 — D. E. SCHMITT und H. KAUTSKY — Ein Verfahren zur Bestimmung des ¹³⁷Cs-Gehaltes im Meerwasser. DHZ, 14, H. 5, 194-197, 1961.

- 64 — H. P. SCHMITZ — A relation between the vectors of stress, wind, and current at water surfaces and between the shearing stress and velocities at solid boundaries (Eine Beziehung zwischen Wind-, Strom- und Spannungsvektor an der Wasseroberfläche und zwischen Schubspannung und Geschwindigkeit an festen Begrenzungen). DHZ., 15, H. 1, 1962.
- 65 — A. SCHRAUB — Natürliche Radioaktivität in Luft, Wasser und Boden. Schriftenreihe d. Bundesmin. f. Atomkernenergie u. Wasserwirtschaft, H. 6, 19-30, 1958.
- 66 — Wilh. G. SIMON — Über die Sandwanderung vor der ostfriesischen Küste in Richtung auf die Elbmündung nach den Beobachtungen der letzten Jahrzehnte. Abh. u. Verhandl. d. Naturwiss. Ver. in Hamburg. N. F. V., 69-88, 1961.
- 67 — E. SONS — Die Anwendung radioaktiver Isotopen bei der Verfolgung von Abwasser-einleitungen in Seen und Küstengewässern. Atompraxis, 3, H. 8/9, 306-309, 1957.
- 68 — G. STRÖHL — Über die Wechselwirkungen zwischen radioaktiven Verunreinigungen und Schwebstoffen im Vorfluter. DGM., Sonderheft, 36-39, 1960.
- 69 — WASMUND — Geologische-hydrologische Taucherbeobachtungen. Geolog. d. Meere u. Binnengew., 1, H. 2/3, 1937.
- 70 — WASMUND — Färbung und Glaszusatz als Meßmethode mariner Sand- und Geröll-wanderung. Geolog. d. Meere u. Binnengew., 3, H. 2, 1939.
- 71 — W. WEEDA — De praktische uitvoering van enkele stromingsmetingen met radio-active stoffen. De Ingenieur, 69, 9, O. 23-29, 1957.
- 72 — E. WOHLBERG — Der horizontale Wasserschöpfer. DHZ., 3, H. 5/6, 365-368, 1950.
- 73 — R. ZAYC — Radioaktivität und Wasserwirtschaft. Wasser u. Boden, 12, H. 4, 108-110, 1960.
- 74 — R. ZAYC — Trinkwasserversorgung und Radioaktivität. Wasser u. Boden, 14, H. 7, 228-230, 1962.
- 75 — V. P. ZENKOVITCH — Application of luminiscent substances for sanddrift investiga-tions in the near-shore zones of the sea. De Ingenieur, 74, 13, B. 81-89, 1962.
- 76 — V. P. ZENKOVITCH — Some problems and methods of shore-dynamics investigations in the U. S. S. R. De Ingenieur, 74, Nr. 15, B. 95-107, 1962.
- 77 — V. P. ZENKOVITCH — Some new exploration results about sandshores development during the sea transpression. De Ingenieur, 74, 17, B. 113-121, 1962.

ÜBER DIE BEKANNTEN UNTERSUCHUNGEN ZUR SANDBEWEGUNG MIT RADIOAKTIVEN INDIKATOREN

von M. PETERSEN

Erst seit etwa einem Jahrzehnt werden Untersuchungen mit radioaktiven Indikatoren durchgeführt, um die Bewegung von Sand im Wasser zu studieren.

Als mit den Vorbereitungen begonnen wurde, auch an Brandungsküsten der Nord- und Ostsee die Radionuklid-Methode einzusetzen und zu erproben, weil die herkömmlichen Untersuchungsverfahren nicht recht befriedigen, war die Anzahl der Veröffentlichungen über die neue Methode noch verhältnismäßig gering — und sie standen zu Beginn nur teilweise zur Verfügung.

Inzwischen hat sich die Radionuklid-Methode schnell einen beachtlichen Platz in der Hydrometrie erobert, wie einigen Arbeiten mit umfangreichen, zum Teil auch kritischen Übersichten zu entnehmen ist [1, 7]. Um Wiederholungen möglichst zu vermeiden, können diese Publikationen und die darin behandelten älteren Untersuchungen als bekannt vorausgesetzt werden.

Über die in der Studie Nr. 1 [9] erläuterten Anwendungsbereiche in der Wasserwirtschaft hinaus soll es Aufgabe dieser Studie sein, einige charakteristische Merkmale herauszustellen, die vor dem Einsatz der Radionuklid-Methode einer eingehenden Prüfung unterzogen werden sollten. Entsprechend der zu lösenden Probleme wird von Fall zu Fall erwogen werden müssen, welcher radioaktive Tracer für die Untersuchung als zweckmäßigstes Mittel in Frage kommt.

Für Feldversuche müssen andere Nuklide verwendet werden als für Laborversuche; in Flüssen liegen andere Bedingungen vor als an Brandungsküsten.

Heute steht bereits eine Vielzahl an Nukliden mit unterschiedlichen Halbwertszeiten, Aktivitäten und Energiebereichen zur Verfügung. Die einzusetzende Tracermenge wird in dem einen Fall geringer, im anderen Fall größer sein. Wo liegt das zweckmäßige Maß ?

Welche Nuklide und welche Tracermengen haben die verschiedenen Forscher verwendet ?

Um eine Übersicht zu bekommen, wurde die Tabelle I : « Verzeichnis eingesetzter Nuklide » zusammengestellt. Dieses Verzeichnis kann nicht als vollständig gelten. Es werden in den verschiedenen Ländern bei unterschiedlichen Fragestellungen und örtlich mehr oder weniger von einander abweichenden hydrographisch-morphologischen Verhältnissen selbstverständlich entsprechende Ergänzungen der Tabelle möglich sein.

Dem einschlägigen Schrifttum ist zu entnehmen, daß etwa zwanzig Nuklide für Sedi-mentuntersuchungen verwendet wurden, und zwar von Silizium-31 mit einer Halbwertszeit oder Periode von 2,6 Tagen bis zu Kobalt-60 mit einer Periode von 5,3 Jahren. Selbst Caesium-137 (Periode 33 Jahre) ist in Betracht gezogen worden.

Für Messungen der Sandbewegung in Gewässern eignen sich vorzüglich solche Nuklide, die harte γ -Strahlen aussenden, weil diese Strahlen auch noch mit den verfügbaren Meßgeräten erfaßt werden können, wenn die Tracer von einer gewissen Sedimentschicht überdeckt sind.

In *England* ist mit 30-65 mc Barium-140/Lanthan-140, mit Phosphor-32 und mit 1,2 bis 29 Curie Scandium-46 gearbeitet worden. Dabei wurden 60 g bis 25 kg Sand radioaktiv markiert.

Französische Forscher benutzten 8-35 mc Barium-140/Lanthan-140, Rubidium-86, 51 mc (17 kg) Chrom-51, 120 mc Iridium-192, 5-7 mc/g Scandium-46, 0,5 und 250 mc Tantal-182 und Kobalt-60.

In *Holland* wurden 10 und 100 mc, sowie 1,5 Curie Natrium-24, 200 mc Iridium-192 und 2 Curie (100 kg) bzw. 6 Curie (300 kg) eingesetzt. Nach PILON [17] sind in den Jahren 1958-1960 vierzehn Einsätze mit je 2 C und 50 kg gefahren worden.

Von *Japan* ist die Verwendung von 14 mc (0,2 l), 30 mc/l und 100 mc (5 kg) bekannt geworden.

Portugal setzte 10^{-3} bis 10^{-1} (20 kg), 60 mc (100 kg) und 800 mc (4000 kg) Silber-110 ein.

In *Rußland* kamen 30 mc (10 kg) Eisen-59 zur Anwendung.

In *Schweden* sind Versuche mit 36 mc (36 kg) Chrom-51 angestellt worden.

Aus den *U. S. A.* erfuhren wir von Experimenten mit Gold-198, Jod-131, 13 mc (25,4 kg), Phosphor-32, 50 mc Natrium-24, 20 Curie Scandium-46 und 3 mc Radium-226.

In der Bundesrepublik *Deutschland* wurden Untersuchungen angestellt mit Barium-140/Lanthan-140, Natrium-24, mit 0,7 Curie (40 kg), 1 Curie (10 kg), 3 Curie (80 kg) Chrom-51, 300 mc (in 10 l Wasser) und 4 Curie (100 g) Scandium-46, Kobalt-60 und 1 μ c (pro l) Caesium-137.

Nuklide mit kurzer Halbwertszeit eignen sich besonders für Untersuchungen in hydraulischen Laboratorien : Phosphor-32, Natrium-24, Rubidium-86 und Chrom-51.

Für Durchflußmessungen in Flüssen, Talsperren, Teichen, Seen, Baggerrohren, Kläranlagen wurden folgende Radioelemente von kurzer bis langer Halbwertszeit mitgeteilt : Phosphor-32, Natrium-24, Iridium-192, Scandium-46, Kobalt-60 und auch Caesium-137.

Flußmündungen mit wechselnden Strömungsrichtungen waren Einsatzgebiete für Chrom-51, Scandium-46, Tantal-182 und Silber-110.

Bemerkenswert zahlreich sind auch die in Küstengewässern benutzten Nuklide : Barium-140/Lanthan-140, Chrom-51, Eisen-59, Scandium-46, Tantal-182, Zink-65 und Silber-110.

Vorstehende Darlegungen lassen deutlich erkennen, daß es nicht ohne weiteres möglich ist, für eine bestimmte Aufgabe das zweckmäßigste Nuklid mit der wirkungsvollsten Aktivität und Menge auszuwählen.

Bei näherer Beschäftigung mit der Anwendung von radioaktiven Isotopen in der Hydrometrie ergeben sich noch weitere Variationen, wenn die verschiedenen Möglichkeiten bei der Wahl des Markierungsverfahrens und der Meßgeräte geprüft werden.

Im Rahmen des Forschungsvertrages EURATOM-Land Schleswig-Holstein wurden die Fragen, welche mit der zu treffenden Wahl verbunden sind, im Arbeitsteam eingehend beraten. Einem radiochemischen Laboratorium wurde die Aufgabe übertragen, Spezialuntersuchungen für den Einsatz in der Brandungszone durchzuführen. Es ist auf Grund seiner Untersuchungen zu dem Ergebnis gekommen, daß für die Messungen der Sandwanderung in der Brandungszone das Nuklid Scandium-46 am geeignetsten ist (vergl. Studie Nr. 3). Über die Geräteentwicklungen wird in den Studien Nr. 6 und 7 besonders berichtet.

SCHRIFTTUM

- 1 — N. AJBULATOV, V. BOLDYREV und H. GRIESSEIER — Das Studium der Sedi-
mentbewegung in Flüssen und Meeren mit Hilfe von lumineszierenden Farbstoffen
und radioaktiven Isotopen. Peterm. Mitt., H. 3, 177-186 und H. 4, 254-263, 1961.

TABELLE I
Verzeichnis eingesetzter Nuklide

Nuklid	Periode (Tage)	Energiebereich MeV γ	Aktivität	Menge	Land	Fundstelle
1	2	3	4	5	6	7
Si-31	2,6					7
Au-198	2,7	0,41			USA	1
J-131	8,1	0,72			USA	8
Ba-140	12,8	0,3 u. 2,6	8-35 mc		Frankreich	1
La-140			40 mc		England	
			65 mc		England	
			30 mc		England	
P-32	14,3	1,7 (β)	13 mc	25,4 kg	BR Deutschland	17
					USA	8
					England	
Na-24	15	1,38 u. 2,76	1,5 C	1,92 kg	Holland	14
			10 mc		Holland	14
			100 mc		Holland	16
			50 mc		USA	15
					BR Deutschland	8
Rb-86	19,5	1,08			Frankreich	7
Cr-51	27,8	0,32	36 mc	36 kg	Schweden	1
			51 mc	17 kg	Frankreich	7
			0,7 C	40 kg	BR Deutschland	17
			3 C	80 kg	BR Deutschland	12
			1 C	10 kg	BR Deutschland	11
Br-82	36	0,5 u. 1,5			BR Deutschland	8
Fe-59	45	1,1 u. 1,3	30 mc	10 kg	Rußland	1
				3 kg	Rußland	2
Co-58	71	0,8				1
Ir-192	74,4	0,3 u. 0,6				1
		0,5	200 mc		Holland	16
			120 mc		Frankreich	4
Sc-46	85	0,89 u. 1,12	2 C	100 kg	Holland	1
			6 C	300 kg	Holland	2
			4 C	25 kg	England	6
			29 C	25 kg	England	1
			1,75 C	128 g	England	1
			1,2 C	60 g	England	1
			5-7 mc	je g	Frankreich	7
			300 mc	in 10 l Wasser	BR Deutschland	10
			4 C	100 g	BR Deutschland	1
					BR Deutschland	8
			20 C		USA	8
Ta-182	111	0,1 u. 1,2	0,5 mc		Frankreich	7
			250 mc		Frankreich	7
Zn-65	250	1,11	14 mc	0,2 l	Japan	1
			30 mc	1 l	Japan	1
			100 mc	5 kg	Japan	1
Ag-110	270	0,7 u. 1,4	10^{-3} - 10^{-4} mc	20 kg	Portugal	1
			60 mc	100 kg	Portugal	1
			800 mc	4.000 kg	Portugal	1
Co-60	5,3 Jahre	1,17 u. 1,33			Frankreich	7
					BR Deutschland	17
Cs-137	33 Jahre	0,66			Holland	16
			1 μ c	pro l	BR Deutschland	13
Ra-226	1.600 Jahre		3 mc		USA	3

- 2 — N. AJBULATOV, H. GRIESSEIER und J. SADRIN — Über den Sedimenttransport längs einer unregelmäßig gegliederten Meeresküste. *Akta Hydrophysica*, VIII, H. 1, 5-21, 1963.
- 3 — J. M. CALDWELL — Development and tests of a radioactive sediment density probe. *Beach Erosion Board, Techn. Mem.*, 121, 1960.
- 4 — G. COURTOIS, P. JAFFRY et M. HEUZEL — Emploi de traceurs radioactifs pour l'étude du transport solide dans les cours d'eau. *Radioisotopes in the Physical Sciences and Industry*, S. 453-466, 1960.
- 5 — Helmut GRIESSEIER — Luminophore und Radioisotope im Dienste der Küstenforschung. *Forsch. u. Fortschr.*, H. 11, S. 326-330, 1962.
- 6 — C. C. Inglis und F. H. Allen — The regime of the Thames Estuary as affected by currents salinities and river flow. *Proc. Inst. Civ. Eng.*, Vol. 7, S. 827-878, 1957.
- 7 — Pierre JAFFRY et Richard HOURS — L'étude du transport littoral par la méthode des traceurs radioactifs. *Cahiers océanographiques du C.O.E.C.*, XI, 7, 1959.
- 8 — A. MONTENS — Untersuchungen von Fließvorgängen mit Hilfe radioaktiver Isotope. *Wasser u. Boden*, 12, H. 4, S. 113-115, 1960.
- 9 — M. PETERSEN — Über die Bedeutung von radioaktiv markiertem Sand für wasserwirtschaftliche Aufgaben. *Studie Nr. 1*, Kiel (S. 3-14 dieses Heftes).
- 10 — K. SAUERWEIN — Leit isotopen-Untersuchungen in Gewässern. *DGM. Sonderheft*, S. 23-28, 1958.
- 11 — H. SCHULZ und G. STRÖHL — Untersuchung der Sandwanderung im Bereich der deutschen Küsten mit radioaktiven Leitstoffen. *DGM.*, 3, 111, 1959.
- 12 — H. SCHULZ und G. MEYN — Sandwanderungsmessungen mit radioaktiven Leitstoffen in den deutschen Küstengewässern in den Jahren 1961/62. *DGM.*, 7. Jg., H. 2, S. 29-34, 1963.
- 13 — G. STRÖHL — Über die Wechselwirkungen zwischen radioaktiven Verunreinigungen und Schwebstoffen im Vorfluter. *DGM., Sonderheft* S. 36-39, 1960.
- 14 — N. J. SVASEK und H. ENGEL — Use of a radio-active tracer for the measurement of sediment transport in the Netherlands. *Coastal Engineering-Proceedings of the VII Conference*, Vol. 1, S. 445-454, 1961.
- 15 — N. E. TANEY — Preliminary considerations of the use of radioisotopes for laboratory tracer techniques. *The annual Bulletin of the Beach Erosion Board*. Vol. 14, 1960.
- 16 — W. WEEDA — De praktische uitvoering van enkele stromingsmetingen met radioactieve stoffen. *De Ingenieur*, 69, 9, S. O. 23-29, 1957.
- 17 — EURATOM — Arbeitssitzung : Die Verwendung radioaktiver Indikatoren zur Bestimmung der Wanderung von festen Substanzen im Wasser. Brüssel, 2.-4. Oktober 1963.

VERFAHREN ZUR OBERFLÄCHENMARKIERUNG
VON NATÜRLICHEM SAND MIT RADIONUKLIDEN

von H. GÖTTE und H. BECKER

In Rahmen eines Forschungsprogramms des Landesamts für Wasserwirtschaft Schleswig-Holstein legte uns Prof. Dr. Faßbender 1961 die Frage vor, ob entgegen den bisher in der Literatur zu findenden Angaben [8] Seesand radioaktiv markiert werden könne, ohne daß der Sand dabei seine Form und physikalischen Eigenschaften verliert. Wir haben daraufhin im Radiochemischen Labor der Farbwerke Hoechst AG. ein Verfahren zur radioaktiven Oberflächenmarkierung von natürlichem Sand mit beliebiger spezifischer Aktivität, wie es insbesondere für die direkte Messung der Sandwanderung in Flußläufen, Hafenbecken, Fahrrinnen und Brandungszonen benötigt wird, entwickelt und danach uns zugeschickten Natursand aus dem Sandriff vor der Insel Sylt radioaktiv gekennzeichnet. Nach diesem Verfahren gelingt es, Radionuklide auf der Oberfläche natürlicher Sandkörner so zu fixieren, daß deren physikalische Eigenschaften erhalten bleiben und die aufgebrachte Radioaktivität weder vom Wasser abgelöst noch in einem die Versuchsführung beeinträchtigtem Maße durch Reibung der markierten Teilchen mit anderen Sandkörnern abgetragen wird.

Die bisherigen Methoden zur radioaktiven Oberflächenmarkierung von natürlichem Sand sind stets mit einer Reihe von unerwünschten Nachteilen behaftet und jeweils nur für ganz spezielle Fälle anwendbar. So befinden sich beispielsweise bei der an und für sich ideal erscheinenden radioaktiven Markierung von natürlichem Sand oder den daraus ausgelesenen Quarzanteilen durch Neutronenbestrahlung die entstandenen Radionuklide zwar im Kristallgitter des bestrahlten Materials und können daher weder abgerieben noch herausgelöst werden, jedoch ist es nicht möglich, hierbei ausreichende spezifische Aktivitäten zu erzielen, da im normalen Sand keine Elemente vorhanden sind, aus denen genügend langlebige Radionuklide mit den für viele Untersuchungen zu fordernden Strahleneigenschaften entstehen können. Außerdem können in den Kernreaktoren jeweils nur kleine Mengen von etwa 100 g aktiviert werden. Nach dieser Methode wurden beispielsweise schon aus natürlichem Sand abgetrennte Quarzkörner aktiviert, wobei aus dem in einigen 100 ppm in das Kristallgefüge eingebauten Phosphor dessen radioaktives Isotop ^{32}P gebildet wird. Dies ist jedoch als reiner Betastrahler nach großer Verdünnung nicht mehr durch eine Zählrohrmessung, sondern nur noch durch Autoradiographie der durch Taucher gesammelten Proben nachzuweisen, wodurch sich jedoch die Versuchsdurchführung sehr umständlich und zeitraubend gestaltet [1, 2].

Ein weiteres bekanntes Verfahren zur Oberflächenmarkierung von natürlichem Sand besteht darin, daß man eine Radionuklide (z.B. $^{140}\text{Ba}/^{140}\text{La}$, ^{192}Ir , ^{110}Ag , ^{198}Au) enthaltende Lösung von der zu markierenden Sandprobe adsorbieren läßt und den so behandelten Sand nach Abtrennen der Lösung noch etwa 30 Minuten auf 500°C erhitzt, um die durch Adsorption aufgenommene Aktivität auf den Sandkörnern zu fixieren. Dieses Verfahren ist jedoch insofern unbefriedigend, als bis zu 8 % der aufgetragenen Aktivität innerhalb 15 Stunden unter Bedingungen, die denen der Verwendung im Großversuch ähnlich sind, durch die Sandkörner abgerieben werden. Außerdem werden nach diesem Verfahren nur etwa 10 % der angebotenen Radionuklide von dem nicht vorbehandelten Sand aufgenommen, während der Rest unverändert in der wäßrigen Lösung zurückbleibt. Auch durch vorheriges Anätzen der zu markierenden

Proben mit Soda oder Natronlauge konnte der Anteil der adsorbierten Aktivität auf nicht mehr als 40 % gesteigert werden [9].

Andere Autoren berichten über eine Markierung von natürlichen Sandkörnern durch Adsorption von ^{51}Cr aus wäßriger Lösung.

In den Fällen, bei denen nach dieser Methode Aktivitätsausbeuten von 90 % erzielt werden, müssen die zu markierenden Sandproben mit einer Natriummetasilikat-Schicht überzogen und mit starken Mineralsäuren vorbehandelt [10, 11, 13, 14] und dann bei 90° im Luftstrom getrocknet werden. Dadurch wird jedoch die Oberflächenbeschaffenheit der natürlichen Sandkörner sicher merklich verändert.

Auch der Versuch, Radionuklide auf den Oberflächen von Sandkörnern durch Belichtung von an ihnen adsorbierten Edelmetallsalzen niederzuschlagen, führte zu unbefriedigenden Ergebnissen, da insgesamt 30 bis 50 % des aktiven Materials beim Schütteln des markierten Sandes in Seewasser wieder abgelöst wurden. Nach dieser Methode wurden beispielsweise in Portugal größere Sandmengen (4 t) mit insgesamt 800 mc ^{110}Ag oberflächlich markiert [12].

Außerdem durften aus Gründen des Strahlenschutzes nur Präparate verhältnismäßig geringer spezifischer Aktivität (0,2 c/t) hergestellt werden. Wegen der großen während der Untersuchung auftretenden Verdünnung konnte die ^{110}Ag -Aktivität nicht direkt, sondern erst nach Extraktion gezogener Proben mit HNO_3 und NH_4OH als Konzentrat gemessen werden. Dies bedeutet erheblichen Arbeitsaufwand vor der Messung.

Eine weitere bekannte Methode besteht darin, in die Sandproben Fremdkörper als Markierungsträger einzusetzen. So lassen sich beispielsweise geeignete Radionuklide in Glaspulvern durch Neutronenbestrahlung erzeugen [3, 4, 5, 6, 7] oder auch auf gehärtete Zeolithe durch Ionenaustausch abriebfest aufbringen [8].

Die verwendeten Materialien unterscheiden sich aber hinsichtlich ihrer Oberflächenbeschaffenheit und ihres spezifischen Gewichtes merklich von den natürlichen Sandarten und gewährleisten daher nicht, daß sich die einzelnen markierten Partikeln tatsächlich wie Sandkörner verhalten.

Es wurde nun ein Verfahren zur Oberflächenmarkierung von natürlichem Sand mit Radionukliden, insbesondere zur Messung der Sandwanderung in Flußläufen, Hafenbecken, Fahrrinnen und Brandungszonen u. dgl., gefunden, das die vorstehend angeführten Nachteile der bekannten Verfahren nicht aufweist und mit welchem es gelingt, auch größere Sandmengen auf einfache Weise mit Radionukliden zu beladen, ohne daß hierdurch die physikalischen Eigenschaften der Sandkörner verändert werden und ein wesentlicher Abrieb der markierten Teilchen durch Reibung mit anderen Sandkörnern erfolgt.

Es ist dadurch gekennzeichnet, daß man auf der Oberfläche der zu markierenden Sandkörner radioaktive Stoffe in trägerfreier oder trägerarmer Form als Salze oder Hydroxyde von γ - und/oder β -strahlenden Elementen mit Halbwertszeiten zwischen 5 und 300 d, vorzugsweise zwischen 10 und 100 d, deren beim Glühen gebildete Produkte, insbesondere deren Oxyde, bei erhöhten Temperaturen mit SiO_2 eine abriebfeste Verbindung eingehen, in möglichst gleichmäßiger und feinteiliger Form abscheidet und anschließend die mit den radioaktiven Stoffen beladenen Sandkörner zur Fixierung der Radionuklide noch einem Glühprozeß unterwirft.

Dabei hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die Abscheidung der radioaktiven Verbindungen auf Sandkörnern in der Weise vorzunehmen, daß man den Sand mit einer trägerfreien oder trägerarmen Lösung der radioaktiven Salze innig durchmischt und die erhaltene Aufschlammung unter fortwährender Durchmischung entweder direkt oder erst nach vorheriger Ausfällung der Radionuklide in Form eines feinverteilten schwerlöslichen Salzes durch Zugabe eines geeigneten Fällungsmittels bis zur Trockene eindampft.

Sehr vorteilhaft ist es, zur Markierung der Sandkörner eine neutrale bis schwach saure (PH 2 bis etwa PH 7) trägerfreie oder trägerarme, wäßrige oder alkoholisch-wäßrige Lösung

von Radionukliden mit den vorgenannten Eigenschaften der Gruppen II a, III a (einschließlich der Lanthaniden), IV a und V a des Periodensystems der Elemente, wie z.B. insbesondere der instabilen Isotopen des Bariums und Lanthans, der Elemente der seltenen Erden, des Scandiums, Zirkons und Niobs, zu verwenden. Als besonders vorteilhaft haben sich die Radionuklide $^{140}\text{Ba}/^{140}\text{La}$, ^{144}Ce , ^{95}Zr , ^{95}Nb und ^{46}Sc erwiesen. Sie fallen entweder in genügender Menge als Spaltprodukte an, wie das $^{140}\text{Ba}/^{140}\text{La}$, ^{144}Ce , ^{95}Zr und ^{95}Nb , oder lassen sich gut durch Neutronenbestrahlung in Kernreaktoren darstellen, wie z.B. das ^{46}Sc . Welche Nuklide man im einzelnen verwendet, hängt insbesondere von dem jeweiligen Verwendungszweck bzw. den geforderten Eigenschaften und von der jeweiligen Versuchsdurchführung ab.

Ob man den Sand lediglich mit der radioaktiven Markierungslösung durchmischt und dann direkt eindampft oder ob man vor dem Eindampfen erst die Radionuklide durch Zugabe eines Fällungsmittels ausfällt, hängt jeweils insbesondere von den Eigenschaften der verwendeten Radionuklide bzw. der Verbindungsform, in welcher dieselben zur Verfügung stehen, ab.

So wird man beispielsweise bei der Verwendung von Radionukliden, die in Form leicht wasserlöslicher Verbindungen, wie z.B. als Nitrate, Azetate, Zitate usw., vorliegen und die beim Glühen leicht zu Oxyden zersetzt werden und sich dann leicht mit SiO_2 umsetzen, auf die vorherige Ausfällung der Radionuklide verzichten können und die betreffenden Salze durch einfaches Abdampfen des Lösungsmittels auf den Sandkörnern niederschlagen.

In den Fällen hingegen, wo z.B. leichtlösliche oder beim Glühen mit SiO_2 nicht ohne weiteres umsetzbare Salze der in Frage kommenden Radionuklide nicht existieren, gerade nicht zugänglich sind oder nur in Form leichtflüchtiger Verbindungen vorliegen, ist es erforderlich, die Radionuklide vor dem Eindampfen durch Zugabe eines geeigneten Fällungsmittels in Form schwerlöslicher Salze, die die geforderten Eigenschaften aufweisen, auf den Sandkörnern abzuschneiden und erst nach erfolgter Ausfällung der Radionuklide das Lösungsmittel abzdampfen.

Die letztgenannte Ausführungsform der Abscheidung der Radionuklide auf den Sandkörnern erweist sich unter anderem insbesondere dann sehr vorteilhaft, wenn von vorhergehenden Aufarbeitungs- oder Trennverfahren Lösungen von Radionukliden vorliegen, die beim Abdampfen des Lösungsmittels für das Verfahren ungeeignete Salze liefern. Lediglich durch Zugabe eines geeigneten Fällungsmittels werden dann die Radionuklide in die jeweils gewünschte schwerlösliche Verbindungsform gebracht, die nach Abdampfen des Lösungsmittels auf den Sandkörnern zurückbleibt und durch anschließendes Glühen des Sandes fixiert wird.

Zur Ausfällung der schwerlöslichen radioaktiven Verbindungen eignen sich vor allem Basen, wie NH_4OH , NaOH oder KOH , deren Carbonate, Oxalate und Phosphate oder Säuren wie z.B. $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, HF oder H_2SiF_6 , zu verwenden.

So gehen beispielsweise die mit den Basen bzw. deren Salzen ausgefüllten Hydroxyde, Carbonate und Oxalate der Radionuklide beim Glühen leicht in Oxyde über, die dann beim abschließenden Glühprozeß mit den Sandkörnern eine abriebfeste Bindung eingehen. Die mit den Säuren gefällten Phosphate, Fluoride oder Silicofluoride setzen sich beim Glühprozeß ohne die Zwischenstufe des Oxyds direkt mit den Sandkörnern um.

Zur abschließenden Fixierung der Radionuklide auf den Sandkörnern hat sich ein anschließendes Glühen des wie vorstehend beschrieben behandelten Sandes bei einer Temperatur von etwa 500 bis etwa 1000° C, vorzugsweise bei etwa 800° C, als zweckmäßig erwiesen, wobei der Temperaturbereich im wesentlichen von den verwendeten Radionukliden als auch insbesondere von dem verwendeten Fällungsmittel und dem hierdurch eingebrachten Anion abhängt.

Durch dieses Verfahren werden über 99 % der angebotenen Radioaktivität von dem zu markierenden Sand aufgenommen. Auch durch längeres heftiges Schütteln von markierten

Sandproben in Wasser wurden nur einige wenige Promille der aufgenommenen Aktivität an das Wasser abgegeben.

Abgesehen von einer rötlichen Verfärbung der behandelten Sandproben, die auf Eisenoxyd zurückzuführen ist, ergab ein Vergleich von verschiedenen physikalischen Eigenschaften, wie z.B. Korngrößenverteilung, Schütt- und Rütteldichte und spezifisches Gewicht, von markiertem und unmarkiertem Sand, daß keine außerhalb der Meßgenauigkeit der Prüfmethode liegenden Abweichungen festzustellen sind. Auch die Durchlaufzeiten gleicher Sandmengen durch ein enges Glasrohr, die zum Vergleich der inneren Reibung gemessen wurden, ergaben keine Unterschiede zwischen beiden Proben. Ebenso ließ das mikroskopische Bild keine äußerlichen Veränderungen an den markierten Sandkörnern erkennen.

Die Vorteile dieses Verfahrens bestehen insbesondere darin daß,

1. natürlicher Sand in einfacher Weise und in beliebig hoher spezifischer Aktivität sowie in beliebigen Mengen mit den genannten Radionukliden ohne irgendwelche Aktivitätsverluste markiert werden kann ;
2. die auf den Sandkornoberflächen abgeschiedene Aktivität weitgehend abriebfest gegenüber mechanischer Einwirkung fixiert ist und durch Wasser nicht abgelöst wird ;
3. die physikalischen Eigenschaften des Natursandes nach der Markierung erhalten bleiben und
4. die mit den genannten Fällungsmitteln aus Lösungen ausfällbaren Elemente auch für Großversuche geeignete Radioisotope besitzen, unter denen sich insbesondere auch Gammastrahlen befinden, die für direkte Messungen im Untersuchungsgebiet in Frage kommen.

Das beschriebene Verfahren läßt sich sowohl diskontinuierlich für kleinere Sandmengen (bis beispielsweise 1 kg) als auch in kontinuierlicher Weise zur Kennzeichnung größerer Sandmengen (im Tonnenmaßstab) durchführen. Bei einer kontinuierlichen Durchführung kann beispielsweise so vorgegangen werden, daß in einem Rührgefäß bzw. Knetter mit Austragsöffnung die kontinuierliche Anteigung mit der das Radionuklid enthaltenden Lösung gegebenenfalls unter kontinuierlicher Zugabe des Fällungsmittels erfolgt und das kontinuierlich ausgelegene Gemisch über einen auf entsprechende Temperatur eingestellten Drehrohrofen abgegeben wird, den das Gemisch mit einer ganz bestimmten Geschwindigkeit passiert, so daß der fertig markierte Sand am Ende des Drehrohrofens austritt. An Hand der folgenden Beispiele ist das entwickelte Verfahren im einzelnen näher beschrieben.

Beispiel 1

100 g Seesand werden in einem Becherglas in etwa 100 cm³ 80 %igem Alkohol aufgeschlämmt und unter Rühren tropfenweise mit 0,5 bis 1 ml einer schwach salzsauren Lösung versetzt, die 10 µc⁴⁶Sc und 0,3 mg Sc als Träger enthält. Nach Zugabe von etwa 10 cm³ konzentrierten NH₄OH wird unter weiterem Rühren bis zur Trockne eingedampft ; der getrocknete Sand wird anschließend im Tiegelofen 30 Minuten auf 800° C erhitzt.

Von dem auf der vorstehend beschriebenen Weise mit ⁴⁶Sc markierten Sandproben lösen sich auch bei längeren Abriebversuchen (60 Std.) nur weniger als 0,05 % ihrer Aktivität im Meerwasser, während beispielsweise in der gleichen Weise mit ¹⁴⁴Ce markierten Sandproben unter gleichen Versuchsbedingungen nicht mehr als 0,3 % der vorhandenen Aktivität in Lösung gehen. Die Abriebversuche werden in der Weise vorgenommen, daß jeweils 15 g von markiertem Sand mit 50 cm³ Seewasser 60 Stunden lang mit einer Frequenz von 80 Bewegungen je Minute geschüttelt werden. Nach jeweils 15 Stunden wird im filtrierten Seewasser der vom Sand abgegebene Aktivitätsanteil bestimmt.

Ein Vergleich verschiedener physikalischer Eigenschaften von ⁴⁶Sc markierten Sandproben führt zu folgenden Ergebnissen :

1. Die Korngrößenverteilung im Bereich von 100 bis 1000 μ stimmt für beide Proben innerhalb der Meßgenauigkeit überein. Die mittlere Korngröße liegt bei 300 μ .
2. Mikroskopische Aufnahmen von markiertem und unmarkiertem Sand in 25-facher Vergrößerung ließen keine Unterschiede in der Oberflächenbeschaffenheit der zu vergleichenden Proben erkennen.
3. Die für Schütt- und Rütteldichten und für das spezifische Gewicht gefundenen Werte sind in der nachstehenden Tabelle angeführt. Dieselbe enthält außerdem die beim Durchlauf von jeweils 500 g Sand durch ein 50 mm langes und 3 mm weites Glasrohr gemessenen Zeiten.

TABELLE

	Schüttdichte (g/cm ³)	Rütteldichte (g/cm ³)	Spezifisches Gewicht (g/cm ³)	Durchlaufzeit (Minuten)
Markierter Sand	1,47 \pm 0,005	1,61 \pm 0,005	2,625 \pm 0,005	3,58 \pm 0,02
Unmarkierter Sand . . .	1,48 \pm 0,005	1,61 \pm 0,005	2,615 \pm 0,005	3,50 \pm 0,06

Beispiel 2

10 μ c trägerfreies ⁹⁵Zr werden von ⁹⁵Nb mittels eines Gemisches von 3 molarer HCl und 0,5 molarer HF über einen Anionenaustauscher (Dowex) 2, \times 8, 200 bis 400 mesh) abgetrennt.

12 ml der das ⁹⁵Zr enthaltenden Markierungslösung werden im Hinblick auf die hohe HCl/HF-Säurekonzentration mit 5 ml gesättigter (NH₄)₂C₂O₄-Lösung versetzt und anschließend mit konz. NH₄OH neutralisiert.

In der neutralisierten und auf ein Volumen von 100 ml aufgefüllten vorgenannten wäßrigen Lösung werden 100 g Seesand aufgeschlämmt und das Gemisch unter Rühren zur Trockne eingedampft. Die erhaltene Sandprobe wird anschließend im Tiegelofen 30 Minuten lang auf 800° C erhitzt.

In analoger Weise wird eine Sandprobe mit der trägerfreien ⁹⁵Nb-Lösung markiert. Bei beiden Sandproben ist nach 60 stündigen Abriebversuchen (s. Beispiel 1) ein Aktivitätsverlust von <0,5 % zu beobachten.

Beispiel 3

Eine Aufschlammung von 100 g Seesand in 100 cm³ 80 %igem Alkohol wird mit 0,5 bis 1 cm³ einer wäßrigen, neutralen bis schwach salpetersauren Lösung, die 10 μ c ⁴⁶Sc als Sc(NO₃)₃ [Trägermenge etwa 0,7 mg Sc(NO₃)₃] enthält, gut vermischt und unter ständigem Rühren langsam zur Trockne eingedampft.

Die wie vorstehend behandelte Sandprobe wird anschließend im Tiegelofen 30 Minuten auf 800° C erhitzt. Durch 60 stündiges Schütteln der Sandprobe in Seewasser (s. Beispiel 1) werden weniger als 0,1 % der aufgebrauchten ⁴⁶Sc-Aktivität vom Seewasser abgelöst.

Beispiel 4

100 g in 100 cm³ 80 %igem Alkohol aufgeschlämmter Seesand werden mit 10 μ c ¹⁴⁰Ba (im Gleichgewicht mit ¹⁴⁰La) in Form von etwa 3 bis 4 cm³ einer flußsauren Lösung von BaF₂ (Trägermenge etwa 0,5 mg BaF₂), die man durch mehrmaliges Abrauchen einer wäßrigen BaCl₂-Lösung und Aufnahme des Rückstandes mit 40 %iger Flußsäure erhält, versetzt.

Der mit der radioaktiven Lösung gut vermischte Sand wird unter Rühren zur Trockne eingedampft und anschließend 30 Minuten auf 1000° C erhitzt.

Durch 60 stündiges Schütteln des wie vorstehend markierten Sandes in Seewasser werden nicht mehr als etwa 2 % der als BaF₂ fixierten ¹⁴⁰Ba-Aktivität vom Seewasser abgelöst.

Beispiel 5

Zu 100 g in 80 %igem Alkohol aufgeschlämmtem Seesand gibt man etwa 1 cm³ einer wäßrigen, neutralen bis schwach salzsauren Lösung, die 10 µc ¹⁴⁰Ba (im Gleichgewicht mit ¹⁴⁰La) und etwa 0,6 mg BaCl₂ als Träger enthält.

Diese Mischung versetzt man unter Rühren mit einem geringen Überschuß einer wäßrigen (NH₄)₂HPO₄-Lösung [mit etwa 0,35 mg (NH₄)₂HPO₄], dampft unter ständigem Rühren zur Trockne ein und erhitzt den trocknen Sand schließlich 30 Minuten auf 1000° C.

Dabei wird das ¹⁴⁰Ba als Phosphat auf der Oberfläche der Sandkörner gebunden. Durch unter gleichen Bedingungen wie die für Beispiel 1 vorgenommenen Abriebversuche werden nicht mehr als etwa 3 % der ¹⁴⁰Ba-Aktivität gelöst.

Dieses Verfahren ist am 5. Oktober 1961 patentamtlich angemeldet worden. Die Bekanntmachung der Patentschrift 1 146 427 erfolgte am 28. März 1963. Zu erwähnen wären noch die in Betracht gezogenen Druckschriften :

Deutsche Patentschriften Nr. 630 738, 473 250 ;

französische Patentschriften Nr. 689 936, 876 048.

Das Landesamt für Wasserwirtschaft Schleswig-Holstein hat inzwischen drei Lieferungen von je 100 kg mit Scandium-46 markiertem Seesand für seine Forschungsaufgabe eingesetzt.

SCHRIFTTUM

- 1 — E. D. GOLDBERG und D. L. INMAN — Neutron — Irradiated Quartz as a Tracer of Sand. Bull. Geol. Soc. America, 66, 611, 1955.
- 2 — D. L. INMAN und T. K. CHAMBERLAIN — Experiments with Radioactive Sand as a Tracer of Beach Sand Movements. Proc. Sec. Intern. Conf. Genf, 1958, Bd. 19, 349.
- 3 — J. L. PUTMAN und D. B. S. SMITH — Radioactive Tracer Techniques for Sand and Silt Movements under Water. Intern. J. Appl. Radiation and Isotopes, 1, 24, 1956.
- 4 — F. H. ALLEN und J. GRINDLEY — Radioactive Tracers in the Thames Estuary. The Dock and Harbour Authority, Jan. 1957, 302.
- 5 — A. MONTENS — Die Verwendung von Radioisotopen in der Hydrologie und Hydraulik. — II. Teil. Atompraxis, 5, 182, 1959.
- 6 — H.-A. KLEIN — Beobachtung des Schlicktransportes in einem Tidefluß mit Hilfe radioaktiver Leitstoffe. Die Wasserwirtschaft, H. 4, 95, 1960.
- 7 — Sh. INOSE *et al.* — The Field Experiments of Littoral Drift Using Radioactive Glass Sand. Proc. Intern. Conf. Genf, 1955, Bd. 15, 211.
- 8 — J. J. ARLMAN, J. N. SVASEK und B. VERKERK — Die Anwendung von radioaktiven Isotopen zum Studium des Sandtransportes durch strömendes Wasser. Philips' Technische Rundschau, 21, Nr. 6, 153, 1959/60.
- 9 — D. B. SHMITH und J. D. EAKINS — Radioactive Methods for Labelling and Tracing Sand and Pebbles in Investigations of Littoral Drift. Proc. First Intern. Conf. (UNESCO), Paris 1957, on Radioisotopes in Scientific Research, Bd. 2, 619, Pergamon-Press London-New York-Paris, 1958.

- 10 — J. DAVIDSSON — Investigations of Sand Movements Using Radioactive Sand. Svensk Geografisk Årsbok, Bd. 33, 107, 1957.
- 11 — H. SCHULZ und G. STRÖHL — Untersuchung der Sandwanderung im Bereich der deutschen Küste mit radioaktiven Leitstoffen. Deutsche Gewässerkundl. Mitteilungen, Jg. 4, H. 1, 17, 1960.
- 12 — A. GIBERT — Pracing Undersea Sand Movement with Radioactive Silver. Proc. Sec. Intern. Conf. Genf, 1958, Bd. 19, 355.
- 13 — B. R. PETERSEN — Some Radioactive Surface Labelling Methods. Ingeniøren, 4, 99, 1960.
- 14 — H. SCHULZ und G. MEYN — Sandwanderungsuntersuchungen mit radioaktiven Isotopen im deutschen Küstengebiet der Nord- und Ostsee in den Jahren 1961/62. Deutsche Gewässerkundl. Mitteilungen, Jg. 7, H. 2, 29, 1963.

STUDIE Nr. 4

ENTWICKLUNG EINES SANDGEFÄSSES, EINES ABSCHIRMBEHÄLTERS
(ALS B-VERPACKUNG)
UND EINER TRAVERSE ZUM TRANSPORT VON AKTIVEM SEESAND

von M. PETERSEN, G. SCHULZE-PILLOT und E. THOMSCHKE

I N H A L T

	<i>Seite</i>
1 — Einleitung	29
2 — Aufgabe	29
3 — Beschreibung der Konstruktionen	29
3.1 — Sandgefäß	29
3.2 — Abschirmbehälter	33
3.3 — Berechnung des Abschirmbehälters	37
3.4 — Traverse	39
4 — Erprobungen	41
4.1 — Private Materialprüfung (Werkprüfung) und Übungen im Gelände . . .	41
4.2 — Amtliche Materialprüfung durch die Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) in Berlin	42
5 — Erfahrungen beim Einsatz	43
Schrifttum	44

ABBILDUNGEN

Nr.

- 1 — Abschirmbehälter mit Sandgefäß zum Transport von radioaktiv markiertem Seesand.
- 2 — An der Traverse unter dem Hubschrauber hängt das Sandgefäß.
- 3 — Sandgefäß mit geöffnetem Deckel. Der Deckelverschluß wird eingesetzt.
- 4 — Sandgefäß. Der eingesetzte Deckelverschluß wird durch Anziehen des Zugseiles in die Verriegelung gebracht ; Halterungen für die Tragseile rechts und links unter dem Deckel.
- 5 — Sandgefäß mit gesichertem Verschluß und Zugseil, das mit dem Kippseil fest verbunden ist. Kippseil am Boden des Sandgefäßes befestigt.
- 6 — Abschirmbehälter mit geöffnetem Deckel.
- 7 — Verriegelung des Deckels am Abschirmbehälter.
- 8 — Absicherung der Verriegelung.
- 9 — Achse und Lager zum Ausschwenken des Deckels mit unterer Druckschraube zum Anheben des Deckels.
- 10 — Einsetzen des Sandgefäßes in den Abschirmbehälter.
- 11 — Zentrierung des Sandgefäßes beim Einsetzen in den Abschirmbehälter.
- 12 — Einlegen des Kippseiles und der beiden Tragseile auf den Deckel des Sandgefäßes.
- 13 — Traverse mit Ausklinkvorrichtung zum Transport markierten Sandes — Zustand : entspannt.
- 14 — Das entleerte Sandgefäß hängt am Kippseil. Zugseil mit Deckelverschlußvorrichtung oberhalb des Sandgefäßes sichtbar. Links unten ausgeschütteter Sand (heller Fleck).
- 15 — Ostseeküste, Stakendorfer Strand, 7.3.1962. Der mit 100 kg radioaktiv markierte Sand wird aus dem Abschirmbehälter herausgehoben.
- 16 — Probe-Sandgefäß mit gewöhnlichem Sand gefüllt, linkes und rechtes Tragseil sowie Kippseil (mit Zugseil) ausgelegt. Geschlossener und mit Drahtseilen auf dem LKW verspannter Abschirmbehälter.

HERSTELLUNG DER ABBILDUNGEN

- 1 — Nach Werkzeichnung der Farbwerke Hoechst angefertigt.
- 3 bis 12 — Werkfotos Farbwerke Hoechst N. F 515, F 516, F 517, F 514, F 522, F 521, F 523, F 520, F 519 und F 518.
- 13 — Nach Werkzeichnung Vermessungs-Büro Rüpke angefertigt.
- 14 — Foto Dr. Dolezal.
- 2, 15 und 16 — Foto Dr. M. Petersen.

1 — EINLEITUNG

Zur Untersuchung der Sandwanderung im Brandungsgebiet wird natürlicher Seesand verwendet, der im Radiochemischen Laboratorium der Farbwerke Hoechst AG. nach einem dort entwickelten Verfahren mit ^{46}Sc radioaktiv markiert ist.

^{46}Sc hat eine Halbwertszeit von 84 Tagen und emittiert pro Kernzerfall 2 Gammaquanten von 0,89 und 1,12 MeV. Zum Einsatz kommt eine Sandmenge von 100 kg, die mit 3 Curie ^{46}Sc markiert ist. Dem entspricht eine spezifische Aktivität von $30 \mu\text{c/g}$ Sand oder auf einen mittleren Korndurchmesser von 300μ bezogen $10^{-3} \mu\text{c/Sandkorn}$. Das radioaktive Sc wird als Oxyd bei einem Trägergehalt von 10 ppm auf der Kornoberfläche durch Glühen bei 800° fixiert, wobei das Sc_2O_3 sich mit dem SiO_2 des Sandkorns verbindet. Bei einem in dieser Weise markierten Sand ist der in Seewasser lösliche Anteil des ^{46}Sc nach Schüttelversuchen unter harten Bedingungen kleiner als 0,1 % [1].

2 — AUFGABE

100 kg radioaktiv markierter Seesand sind mit LKW oder Eisenbahn von Frankfurt/M., wo die Markierung bei den Farbwerken Hoechst AG. durchgeführt wird, nach der Schleswig-Holsteinischen Ostsee- oder Nordseeküste zu befördern. Am Einsatzort soll der Sandbehälter von einem Hubschrauber übernommen werden, der ihn zu einem 150 bis 500 m entfernten Riff bringt, wo der markierte Sand auf der Gewässersohle aus dem Behälter zu entleeren ist.

Die Aufgabe bestand darin, ein Sandgefäß, einen Abschirmbehälter für den Transport des Sandgefäßes und eine Traverse zum Aufhängen des Sandgefäßes am Hubschrauber mit einer Vorrichtung zum Entleeren des Gefäßes unter Wasser zu konstruieren. Konstruktion, Herstellung und Erprobung dieser Teile wurden im Laufe des Jahres 1961 durchgeführt.

Das Sandgefäß und der Abschirmbehälter sind unter Mitarbeit des Landesamtes für Wasserwirtschaft Schleswig-Holstein von den Farbwerken Hoechst AG. entwickelt und hergestellt worden. Die Traverse wurde vom Vermessungsbüro Rüpke, Hamburg, zusammen mit der Flugleitung Flugplatz Lüdt in Hartenholm/Holstein entworfen und für das Landesamt für Wasserwirtschaft Schleswig-Holstein hergestellt.

3 — BESCHREIBUNG DER KONSTRUKTIONEN

3.1 — Sandgefäß

Bei der Konstruktion waren verschiedene Forderungen zu erfüllen, die sich in Zusammenhang mit dem Einfüllen, dem Transport mittels Hubschrauber und dem Ausschütten des Sandes auf dem Meeresboden ergaben. Zu berücksichtigen war ferner, daß wegen der Maximalbelastbarkeit des Hubschraubers das Eigengewicht des Gefäßes 90 kg nicht überschreiten durfte.

Beim Einfüllen muß das Sandgefäß aus Strahlenschutzgründen bereits im geschlossenen Transportbehälter stehen. Der markierte Sand läuft chargenweise aus dem Produktionsabzug durch eine mit Dichtung aufgesetzte Rohrleitung in das Sandgefäß, während durch Absaugen über eine zweite Öffnung im Deckel in dem Gefäß Unterdruck aufrechterhalten wird.

Am Einsatzort hebt der Hubschrauber das Sandgefäß aus dem Transportbehälter und bringt es zum Riff. Dabei kann der Pilot bei Absturzgefahr (z.B. durch ungünstige Windverhältnisse) gezwungen sein, den Sandbehälter abzuwerfen. Damit bei einem solchen Notabwurf der Behälter nicht aufplatzt oder der Deckel aufspringt, ist der Boden des Behälters zu verstärken und der Deckelverschluß besonders zu sichern. Das Gefäß soll jedoch vom Hubschrauber aus ohne zusätzliche vom Piloten zu betätigende Vorrichtungen zu öffnen sein.

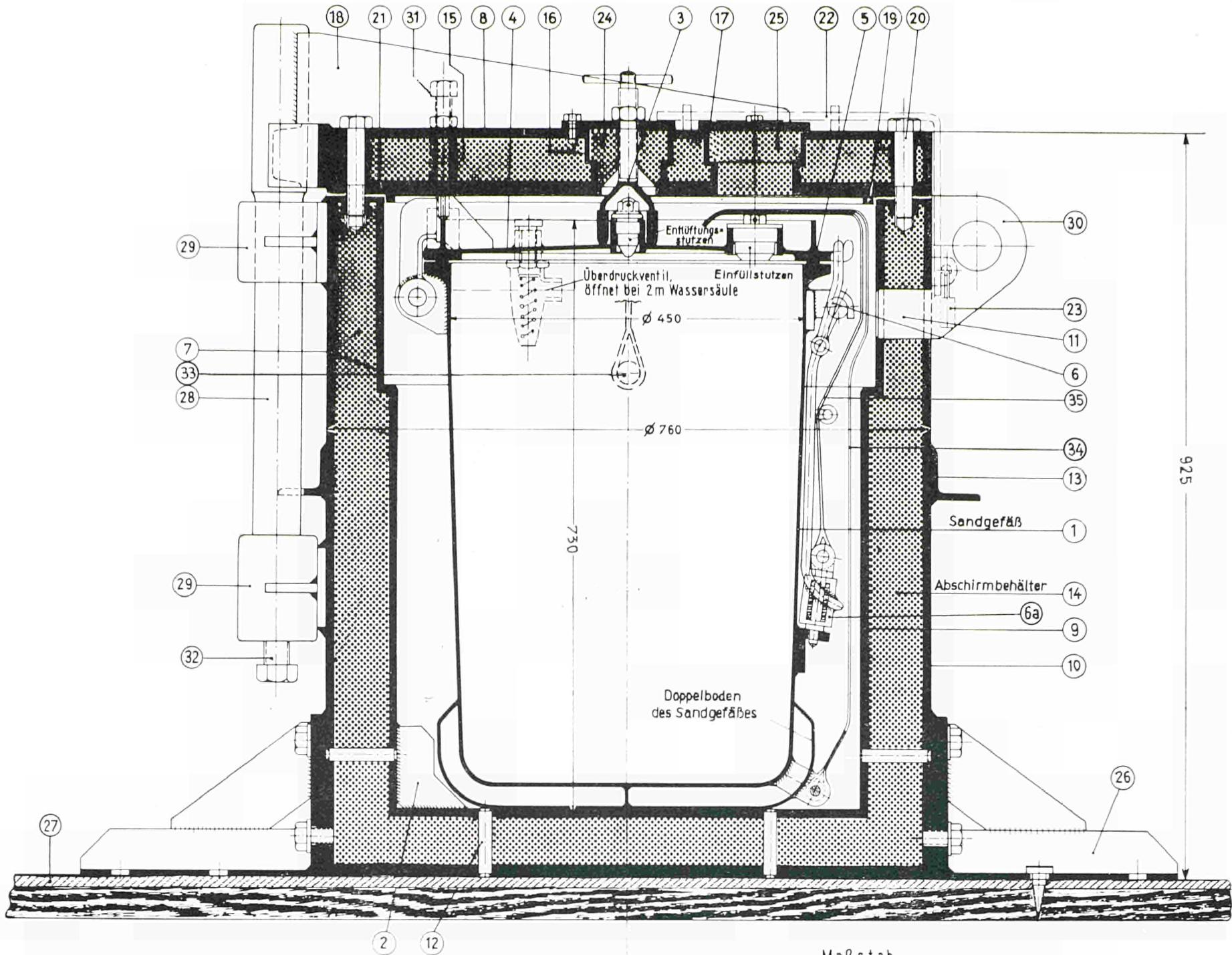


Bild 1

Abschirmbehälter mit Sandgefäß zum Transport von radioaktiv markiertem Seesand

Maßstab
0 50 100 200 300 500mm

Der Behälter muß daher mit Tragseilen und Zugseil ausgestattet werden, so daß beim Absetzen auf den Meeresboden nach Abwerfen der Trageile das Zugseil zunächst den Deckelverschluß öffnet und dann den Behälter kippt und hochzieht.

Für die Entleerung des Sandgefäßes ist noch zu berücksichtigen, daß der Wasserdruck schon in 2 m Tiefe größer ist als der vom Sandinhalt auf den Deckel ausgeübte Druck. Es muß daher durch ein Überdruckventil unter Wasser für Druckausgleich gesorgt werden, damit der Deckel sich unter dem Gewicht des Sandes öffnen kann.

Bild 1 zeigt im Schnitt das Sandgefäß und seine Lage im Transportbehälter. Die im folgenden angegebenen eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf die Hinweisnummern in Bild 1. Das kegelförmige Sandgefäß ist aus hochwertigem, 5 mm starkem Stahlblech hergestellt mit einem Durchmesser von 450 mm und einer Höhe von 730 mm. Der Gefäßdeckel ist durch Rippen verstärkt (4). Zur Abdichtung zwischen Deckel und Gefäß wird eine wärme- und druckbeständige Spezialdichtung (5) verwendet.

Im Deckel befindet sich der Einfüllstutzen, durch den der Sand eingefüllt wird, und der Entlüftungsstutzen, durch den während des Einfüllens im Gefäß Unterdruck erzeugt wird.

Beide Stutzen werden nach dem Einfüllen durch die Öffnungen im Deckel des Transportgefäßes hindurch verschlossen. Ferner ist im Gefäßdeckel das Überdruckventil angebracht, das sich bei 2 m Wassersäule öffnet, um unter Wasser Druckausgleich herzustellen.

Der Deckelverschluß (6) ist nach dem Übertotpunktprinzip ausgebildet. Eine weitere Sicherung gegen ein Aufspringen des Deckels (z.B. bei einem Notabwurf) stellt der Federbolzen (6a) dar, der vom Zugseil zunächst herausgezogen werden muß, bevor durch weiteren Zug der Übertotpunktverschluß geöffnet werden kann.



Bild 2 — An der Traverse unter dem Hubschrauber hängt das Sandgefäß

Zur Sicherung gegen ein Aufplatzen des Bodens bei einem Notabwurf ist das Gefäß mit einem verrippten Doppelboden ausgerüstet.

Die beiden Tragseile sind mit Kauschen an den zwei Zapfen (33) im oberen Drittel des Gefäßes befestigt, so daß das Gefäß mit tiefem Schwerpunkt am Hubschrauber hängt (Bild 2, 3, 4, 5).

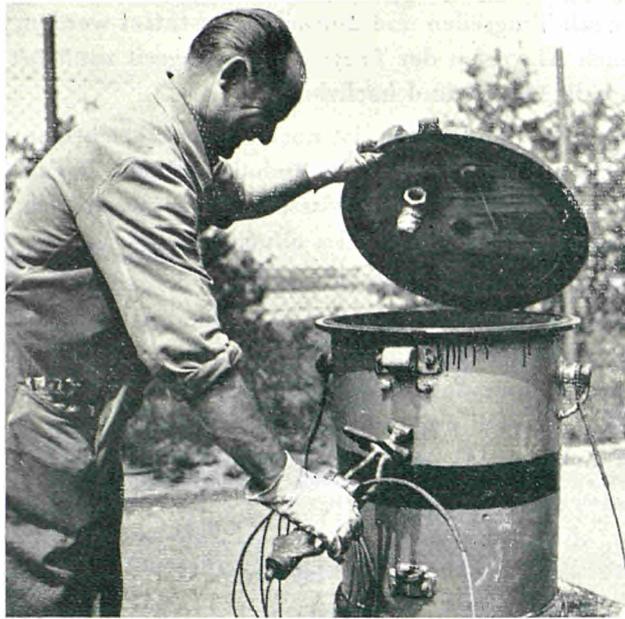


Bild 3 — Sandgefäß mit geöffnetem Deckel. Der Deckelverschluß wird eingesetzt

Das Gefäß hat einen silbergrauen Anstrich mit 3 roten Streifen erhalten, damit auch auf größere Entfernung der Vorgang des Einbringens in das Wasser gut beobachtet werden kann.

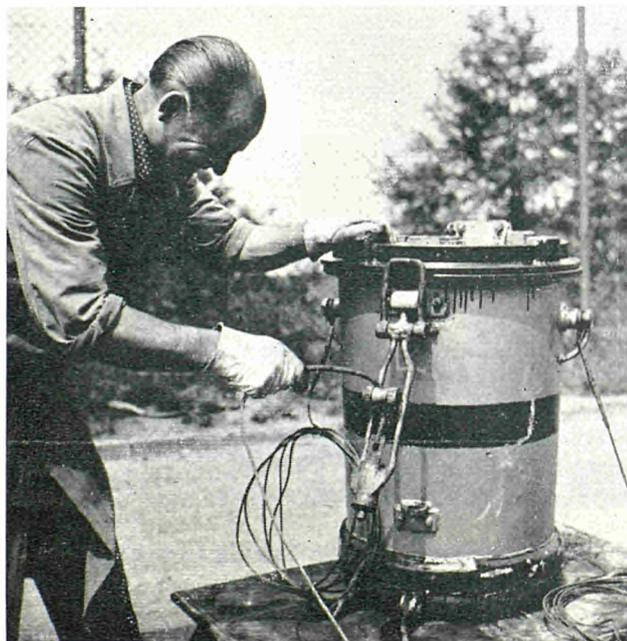


Bild 4 — Sandgefäß. Der eingesetzte Deckelverschluß wird durch Anziehen des Zugseiles in die Verriegelung gebracht; Halterungen für die Tragseile rechts und links unter dem Deckel

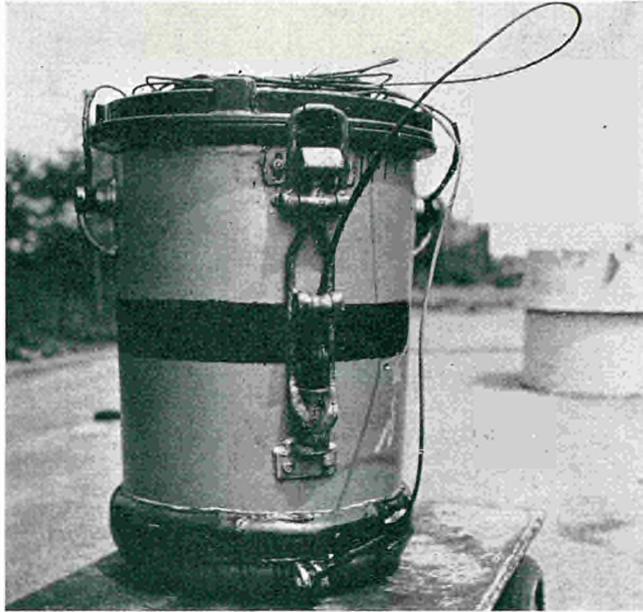


Bild 5 — Sandgefäß mit gesichertem Verschluss und Zugseil, das mit dem Kippseil fest verbunden ist. Kippseil am Boden des Sandgefäßes befestigt

3.2 — Abschirmbehälter

Der Abschirmbehälter soll beim Transport des Sandgefäßes die von der radioaktiven Markierungssubstanz ausgehende Strahlung weitgehend abschirmen und zugleich das Sandgefäß gegen Transportschäden schützen. Maßgebend für die Auslegung des Behälters ist die Anlage C zur Eisenbahnverkehrsordnung vom 1.6.1962 mit den « Vorschriften über die von der Beförderung ausgeschlossenen oder bedingungsweise zur Beförderung zugelassenen Stoffe und Gegenstände ».

Nach der Randnummer 452 der Klasse IV *b* muß der Versand radioaktiver Stoffe in der für ^{46}Sc geltenden kleinsten Radiotoxizitätsgruppe III bei einer Aktivität über 2 Curie (maximal 200 Curie) in Typ-B-Verpackung erfolgen. Für die Genehmigung der Bauartmuster von B-Verpackungen bestehen vorläufige Richtlinien, die Anforderungen an die Verpackung, Genehmigungsverfahren und Prüfbedingungen enthalten. Nach den für Beförderungen, gegebenen Vorschriften über die Abschirmung gelten für die Dosisleistung die Bestimmungen der gelben Kategorie, d.h. maximal 200 mr/h an den Außenseiten und 10 mr/h in 1 m Entfernung vom Behälter. Ferner wird hinsichtlich der Konstruktion z.B. gefordert, daß die Abschirmung keine Lunker enthält, keine Primärstrahlen direkt von innen nach außen gehen, die Ummantelung aus Stahl besteht und daß das Abschirmmaterial bei Feuereinwirkung nicht wegfließen darf. Einzelheiten über die Berechnung der Strahlenabschirmung des Behälters sind im nächsten Abschnitt 3.3 ausgeführt.

Für die Konstruktion waren außerdem eine Reihe von praktischen Gesichtspunkten bestimmend. Das Sandgefäß muß stoßfest im Abschirmbehälter zentriert werden und nach Öffnen des Behälterdeckels ohne Klemmen heraus zu heben sein. Der Behälterdeckel soll während des LKW- und Bahntransportes dicht und erschütterungssicher schließen, am Einsatzort aber sich leicht ohne Zuhilfenahme von Hebezeugen öffnen lassen.

Der äußere Durchmesser des Abschirmbehälters beträgt 760 mm, seine Höhe 925 mm (Bild 6). Der Behälter (7) und der Deckel (8) haben je einen inneren (9) und einen äußeren (10) Mantel. Beide Stahlblechmäntel sind durch Rippen (11) und Distanzbolzen (12) miteinander



Bild 6 — Abschirmbehälter mit geöffneten Deckel

verbunden. Die Hohlräume zwischen den Mänteln des Behälters (14) und des Deckels (15) wurden mit Hartblei ausgegossen. Ein Bandagering (13) aus Winkeleisen dient zur Verstärkung des Abschirmbehälters.

Der Behälterdeckel (8) ist durch zwei Distanzrohre (16 und 17) und durch zwei Rippen (18) ausgesteift; er wird durch den Einpaß (19) mit 12 Rippen und zehn Schrauben M 16 (20) fest mit dem Behälter (7) verbunden. Die Dichtung (21) garantiert einen staubdichten Verschuß. Durch die Verriegelung (22 und Bild 7) und das Sicherheitsschloß (23 und Bild 8) sind der Deckel (8) und die Bleistopfen (24 und 25) gegen unbefugtes Öffnen gesichert. Der Deckel (8)



Bild 7 — Verriegelung des Deckels am Abschirmbehälter

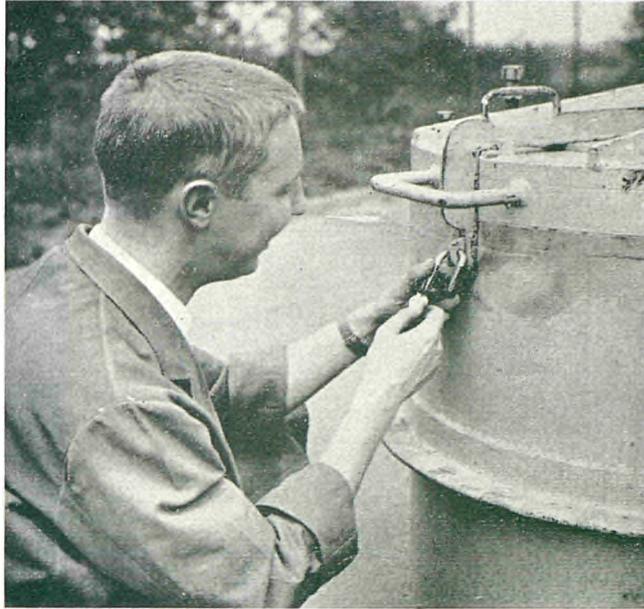


Bild 8 — Absicherung der Verriegelung

kann um die senkrechte Achse (28), die in Gleitlagern (29) gelagert ist, ausgeschwenkt werden (Bild 9 und 10). Zum Ausschwenken muß der Deckel mit der Druckschraube (32) aus dem Einpaß (19) herausgehoben werden (Bild 9).

Die Rippen (2) am Boden des Behälters dienen zum Zentrieren des Sandgefäßes. Weiter wird das Sandgefäß durch die 4 Andrückschrauben M 20 (31) und die Zentrierschraube (3) stoßfest im Abschirmbehälter verspannt.

Für den Transport auf dem LKW ist der Abschirmbehälter mit 4 Pratzen (26) auf einer stählernen Grundplatte (27) befestigt, die auf dem Bodenbelag des LKW angeschraubt wird.



Bild 9 — Achse und Lager zum Ausschwenken des Deckels mit unterer Druckschraube zum Anheben des Deckels

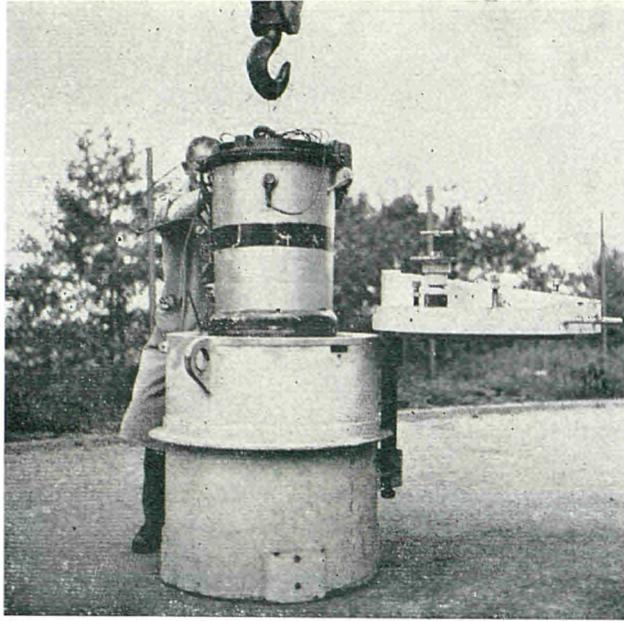


Bild 10 — Einsetzen des Sandgefäßes in den Abschirmbehälter

Zusätzlich soll der Behälter mit Drahtseilen, die an den Ösen (30) angreifen, fest auf dem Fahrzeug verspannt werden.

Durch die verwendeten Materialstärken und Konstruktionselemente, 10-15 mm starker stählerner Innen- (9) und Außenmantel (10), Versteifungsrippen (2, 11, 18), Distanzstücke (12, 16, 17), Hartbleifüllung (14, 15), Bandagenring (13), ist eine wesentliche Beschädigung des Abschirmbehälters bei einem Verkehrsunfall praktisch ausgeschlossen. Die Deckelbefestigungen und Abdichtungen gewährleisten den geforderten Schutz des Transportbehälters gegenüber jeder Möglichkeit eines Austritts von radioaktiver Substanz.

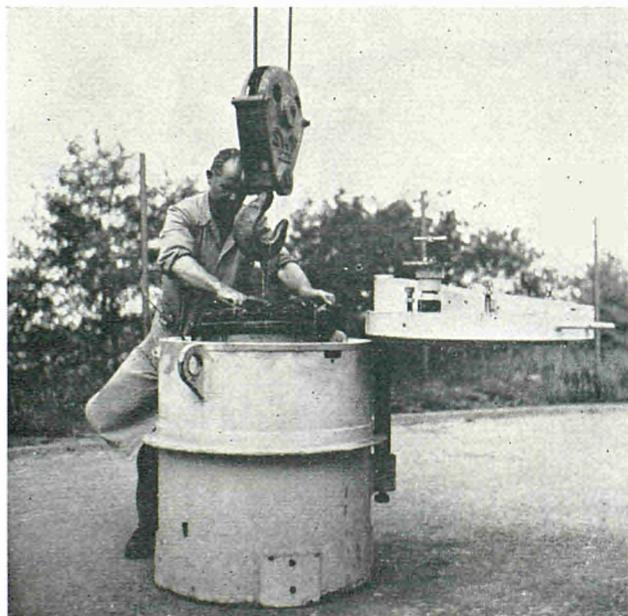


Bild 11 — Zentrierung des Sandgefäßes beim Einsetzen in den Abschirmbehälter



Bild 12 — Einlegen des Kippseiles und der beiden Tragseile auf den Deckel des Sandgefäßes

3.3 — Berechnung des Abschirmbehälters

Die folgende Rechnung zeigt, daß die Wandstärken der Stahlmäntel und der Bleifüllung des Abschirmbehälters einen ausreichenden Strahlenschutz für den Auto- oder Bahntransport des markierten Sandes gewährleisten [2, 3]. Bei der Füllung des Sandgefäßes mit 100 kg Seesand, markiert mit 5 Curie ^{46}Sc , bleibt die Dosisleistung an der Oberfläche des Abschirmbehälters unter 200 mr/h und in 1 m Abstand von der Oberfläche unter 10 mr/h.

Die Wandstärken betragen bis zur Höhe der Sandfüllung (47 cm) 2 cm Stahl und 7 cm Blei. Aus konstruktiven Gründen wurde die Wandstärke oberhalb 51 cm lichter Höhe auf 2 cm Stahl und 5 cm Blei und im Deckel auf 2,5 cm Stahl und 5,5 cm Blei ausgeführt.

Der Rechnung liegen folgende Zahlenwerte zu Grunde :

100 kg Gewicht des markierten Sandes,
 1,5 g/cm³ Schütt-Dichte des markierten Sandes,
 5 Curie ^{46}Sc Aktivität des markierten Sandes.

Abmessungen des Sandgefäßes :

41 cm unterer Durchmesser,
 45 cm oberer Durchmesser,
 64,5 cm lichte Höhe,
 47 cm mittlere Höhe des Sandes im Sandgefäß.

Abmessungen des Abschirmbehälters :

76 cm Außendurchmesser
 76 cm lichte Höhe.
 2,0 cm Stahl, 7,0 cm Blei. Wandstärken bis zu 51 cm lichter Höhe.
 2,0 cm Stahl, 5,0 cm Blei. Wandstärken oberhalb 51 cm lichter Höhe.
 2,5 cm Stahl, 5,5 cm Blei. Wandstärken des Bleideckels.

1 — Dosisleistung an der Oberfläche des Sandgefäßes

$$(1.2)-(1.5) \quad D_1 = S \cdot \frac{R}{2} \cdot f(\mu, R) \cdot k(E_\gamma) = 28,4 \cdot 10^3 \text{ mr/h} \text{ dabei bedeuten :}$$

D [mr/h] Dosisleistung an der Oberfläche eines homogen mit aktiver Substanz gefüllten Zylinders vom Radius R,

S [γ /cm³/h] Quantenstrom (γ -Quanten pro cm³ und Stunde) aus dem Volumenelement eines homogen mit aktiver Substanz erfüllten Körpers,

R [cm] Radius des Zylinders,

$f(\mu, R)$ Selbstabsorption im Zylinderinhalt in Abhängigkeit vom Absorptionskoeffizienten μ und dem Radius R.

$k(E_\gamma)$ $\left[\frac{\text{mr cm}^2}{\gamma} \right]$ Dosiskonstante der γ -Strahlung (Milliröntgen pro γ -Quant pro cm²) in Abhängigkeit von der Energie E_γ .

S, R, f und k werden folgendermaßen berechnet :

$$(1.2) \quad S = \frac{A}{G} \cdot \zeta \cdot c_1 \cdot c_2 = 1,6 \cdot 10^{10} \gamma/\text{cm}^3/\text{h}$$

mit

$$A = 4 \text{ Curie}$$

$$G = 10^5 \text{ g,}$$

$$\zeta = 1,5 \text{ g/cm}^3,$$

$$c_1 = 1,33 \cdot 10^{14} \text{ Z/c} \cdot h \text{ (Zerfälle pro Curie und Stunde),}$$

$$c_2 = 2 \gamma/Z \text{ (2 } \gamma\text{-Quanten pro Zerfall),}$$

$$(1.3) \quad R = 22 \text{ cm mittlerer Radius des Sandgefäßes.}$$

$$(1.4) \quad f(\mu, R) = 0,25 \text{ Selbstabsorption im Sand mit } \mu/\zeta = 0,06 \text{ cm}^2/\text{g} \text{ für die Absorption von 1 MeV-}\gamma\text{-Strahlung in leichteren Elementen (C bis Mn) und } \zeta = 1,5 \text{ g/cm}^3.$$

$$(1.5) \quad K(E_\gamma) = 0,55 \frac{\text{mr m}^2}{\text{h mc}} = 0,52 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mr cm}^2}{\gamma} \text{ Mittelwert der Dosiskonstanten 0,60 und } 0,50 \frac{\text{mr m}^2}{\text{h mc}} \text{ für } E_\gamma = 1,12 \text{ und } 0,89 \text{ MeV.}$$

2 — Dosisleistung an der Oberfläche des Abschirmbehälters

$$(2.1) \quad D_2 = D_1 \cdot f(R^2) \cdot f(\mu_{\text{Pb}}) \cdot f(\mu_{\text{Fe}}) \text{ damit bedeuten :}$$

$D_1 = 28,4 \cdot 10^3 \text{ mr/h}$ nach (1.1) Dosisleistung an der Oberfläche des Sandgefäßes,

$f(R^2) = R_2^2/R_1^2$ Verminderung der Dosisleistung durch Abstandsvergrößerung bezogen auf den Mittelpunkt der Sandfüllung,

$f(\mu_{\text{Pb}})$ Schwächung der γ -Strahlung durch Absorption in Blei.

$f(\mu_{\text{Fe}})$ Schwächung durch Absorption im Stahlmantel.

2a) Unterhalb 51 cm lichter Höhe wird

$$D_{2a} = 60 \text{ mr/h}$$

$$\text{mit } R_1 = 22 \text{ cm, } R_2 = 30 \text{ cm,}$$

$$f(\mu_{\text{Pb}}) = 0,83 \cdot 10^{-2} \text{ Absorption in 7 cm Blei}$$

$$f(\mu_{\text{Fe}}) = 0,75 \quad \text{Absorption in 2 cm Stahl,}$$

2b) oberhalb 51 cm lichter Höhe wird

$$D_{2b} = 87 \text{ mr/h}$$

$$\text{mit } R_1 = 22 \text{ cm, } R_2 = 50 \text{ cm,}$$

$$f(\mu_{\text{Pb}}) = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Absorption in 5,5 cm Blei (schräge Durchstrahlung)}$$

$$f(\mu_{\text{Fe}}) = 0,65 \quad \text{Absorption in 2,5 cm Stahl,}$$

2c) an der Oberfläche des Deckels wird

$$D_{2c} = 64 \text{ mr/h}$$

mit $R_1 = 22 \text{ cm}$, $R_2 = 59 \text{ cm}$

$f(\mu_{\text{Pb}}) = 2,5 \cdot 10^{-2}$ Absorption in 5,5 cm Blei

$f(\mu_{\text{Fe}}) = 0,65$ Absorption in 2,5 cm Stahl.

3 — *Dosisleistung in 1 m Abstand von der Oberfläche des Abschirmbehälters*

$$D_3 = D_2 \cdot f(R^2)$$

3a) Unterhalb 51 cm lichter Höhe

$$D_{3a} = D_{2a} \cdot f(R^2) = 5 \text{ mr/h}$$

mit $R_1 = 38 \text{ cm}$; $R_2 = 138 \text{ cm}$

3b) Oberhalb 51 cm lichter Höhe

$$D_{3b} = D_{2b} \cdot f(R^2) = 9 \text{ mr/h}$$

mit $R_1 = 50 \text{ cm}$; $R_2 = 150 \text{ cm}$

3c) Über dem Deckel

$$D_{3c} = D_{2c} \cdot f(R^2) = 9 \text{ mr/h}$$

mit $R_1 = 59 \text{ cm}$; $R_2 = 159 \text{ cm}$.

4 — *Ergebnisse*

Bezogen auf eine Füllung des Sandgefäßes mit 100 kg Sand und einer Aktivität von 5 Curie betragen die Werte der Dosisleistung für die Oberfläche des Abschirmbehälters 60 und 90 mr/h (2a bis 2c) und für einen Abstand von 1 m zwischen 5 und 9 mr/h (3a bis 3c). Sie liegen damit unter den zulässigen Grenzwerten von 200 bzw. 10 mr/h.

5 — *Vergleich mit gemessenen Werten*

Die erste Lieferung im März 1962 enthielt 100 kg Seesand, markiert mit 3,2 Curie ^{46}Sc .

An dem Abschirmbehälter wurde gemessen

Oberfläche 35-40 mr/h

1 m Abstand 3 mr/h

Nach der Rechnung waren zu erwarten

Oberfläche 40-60 mr/h

1 m Abstand 3-6 mr/h.

3.4 — *Traverse (Bild 13)*

Die beiden Tragseile, an denen das Sandgefäß hängt, werden an den äußeren Enden A und B der 1,20 m langen Traverse in die Halterung (K) eingehängt.

Die Ausklinkvorrichtungen haben sich im Segelflugbetrieb bewährt. Durch Umlegen des Haupthebels (E) spannt sich die Feder (F), bis der Haupthebel an der Sperre (I) verriegelt wird. Der Hebel bei A wird nach links, der Hebel bei B nach rechts geführt und die Halterungen der Tragseile sind gesperrt. Bei G befinden sich Führungsösen.

Wenn die Traverse so an den Tragösen (D) unter dem Hubschrauber hängt, kann das gefüllte Sandgefäß angehoben und an Ort und Stelle gebracht werden, ohne daß sich die Tragseile ineinander verwickeln.

Den Vorschriften der Flugsicherheit entsprechend muß die an den Hubschrauber angehängte Last mit einem vom Piloten kappbaren Seil (bei D) befestigt werden, damit bei Absturzgefahr für den Hubschrauber das Sandgefäß sofort abgeworfen werden kann. Dies ist denkbar, wenn das Sandgefäß oder die Meßsonde unter dem Hubschrauber zu stark pendeln oder die Flugeigenschaften der Maschine anderweitig beeinträchtigt werden.

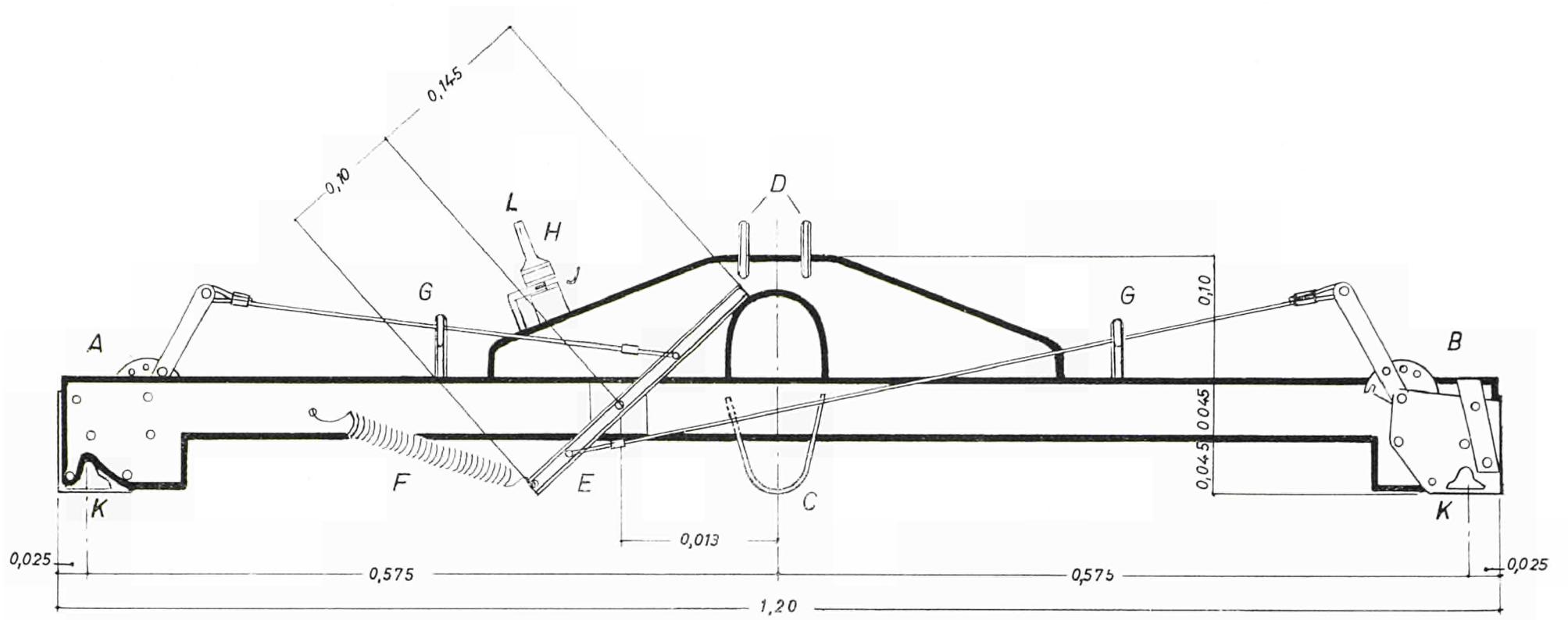


Bild 13 — Traverse mit Ausklinkvorrichtung zum Transport markierten Sandes — Zustand : entspannt

In C wird der Karabinerhaken des Kippseiles fest eingeklinkt. Das Kippseil muß locker hängen.

Sobald das Sandgefäß auf die Gewässersohle abgesetzt ist, lockern sich die Tragseile. Dies wird von der Funksprech-Station am Strand beobachtet und dem Piloten zugesprochen. Daraufhin zieht der Pilot die Perlonleine, die zur Traverse führt (L) und bei der Auslösevorrichtung (H) die Verriegelung (I) entsperrt. In diesem Augenblick zieht die Feder (F) den Haupthebel (E) in die entspannte Lage zurück, so daß sich die Halter (K) öffnen und die Tragseile freigegeben werden.

4 — ERPROBUNGEN

4.1 — Private Materialprüfung (Werkprüfung) und Übungen im Gelände

An dem zuerst hergestellten Sandgefäß wurden die ersten Erprobungen in Frankfurt vorgenommen. Dann kam es nach Kiel; nach gemeinsamer Beratung der beteiligten Stellen wurden insbesondere am Deckelverschluß Änderungen durchgeführt. Auf dem Flugplatz Hartenholm folgten Flugversuche (Bild 14). Kleinere Mängel an der Ausklinkvorrichtung, an den Halterungen für die Tragseile beseitigte die Flugplatz-Werkstatt. Das Kippseil hatte kurzfristig hinter eine der beiden Halterungen gehakt.



Bild 14 — Das entleerte Sandgefäß hängt am Kippseil.
Zugseil mit Deckelverschlußvorrichtung oberhalb des Sandgefäßes sichtbar.
Links unten ausgeschütteter Sand (heller Fleck)

Nach diesen Erfahrungen konnten am Ostseestrand in der Nähe der künftigen Meßstelle weitere Entleerungsversuche mit dem Sandgefäß vom Hubschrauber aus angesetzt werden. Es wurden unter den späteren Geländebedingungen erprobt: das Einhängen der beiden Tragseile und des Kippseiles in die Traverse, der Flug mit dem Sandgefäß, das Ausklinken der Tragseile und das Öffnen des inzwischen geänderten Deckelverschlusses.

Da mit einem vorzeitigen Abwurf des Sandgefäßes wegen des Pendelns der an dem Hubschrauber hängenden Last gerechnet werden mußte, sollte in Frankfurt der Versuch gemacht werden, den Deckelverschluß und die Deckelabdichtung des Sandgefäßes so auszubilden, daß sie einen Abwurf aus etwa 30 m Höhe standhalten. Abwurfversuche haben ergeben, daß die Verschlußvorrichtung sich nicht ohne Betätigung des Zugseiles öffnen kann und daß das 5 mm dicke Stahlblech des gefüllten Gefäßes zwar eingebeult wurde, als dieses aus 5 m Höhe auf eine Betonplatte aufprallte, aber nicht platzte. Bei einem eventuellen Notabwurf über dem Strand oder über einer Düne aus 30 m Höhe ist es unwahrscheinlich, daß das Gefäß aufreißt.

Um unbedingt sicher zu gehen, wurde das Sandgefäß noch mit einem zusätzlichen Boden versehen.

Wenige Wochen später fand die Erprobung des zweiten Sandgefäßes, das dem ersten in allen Teilen genau nachgebildet worden war, und des Abschirmbehälters auf dem Flugplatz Hartenholz statt. Nachdem das Öffnen des Abschirmbehälters auf dem Lastkraftwagen vorgeführt worden war, wurde das Einhängen der Tragseile und des Kippseiles in die Traverse vom VW-Kastenwagen aus geübt.

Trotz ungünstiger Wetterbedingungen — es herrschte Windstärke 5 bis 6 Beaufort — funktionierte die Entnahme des Sandgefäßes aus dem Abschirmbehälter einwandfrei. Auch die vorgesehene Entleerung klappte planmäßig. — Nun folgten einige Versuche, das gefüllte Sandgefäß liegend mit verwickelten Seilen anzulieben, zu kippen und zu entleeren. Dieser Fall wäre denkbar, wenn das Sandgefäß abgesetzt oder im Notwurf abgeworfen und aus der dann vorhandenen Lage neu angehoben werden müßte. Auch bei diesen Erprobungen gab es keine Schwierigkeiten. Vorgesehen waren einige kleinere Änderungen an der Auslösevorrichtung der Traverse (etwas längere Hebelarme und bessere Seile) durch die Flugplatz-Werkstatt und eine Vergrößerung mit Birnenform der Einhängeösen in Frankfurt.

Das Gewicht des neuen Sandgefäßes beträgt 80 kg gegenüber dem ersten Entwurf mit 50 kg. Für die Traverse, Seile und Markierungsbüchsen (rot leuchtend) an den Tragseilen, ergibt sich ein zusätzliches Gewicht von 15 kg. Die Gesamtlast von 195 kg, einschließlich 100 kg Seesand, kann vom Hubschrauber ohne Überlastung gehoben und transportiert werden.

4.2 — Amtliche Materialprüfung durch die Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) in Berlin

Aufgabe der amtlichen Materialprüfung ist es, mechanische und chemische Prüfungen von Stoffen und Konstruktionen vorzunehmen. Sie bedient sich hierbei der herkömmlichen Prüfverfahren, die bis zum Bruch der untersuchten Proben oder Konstruktionsteile führen, oder der zerstörungsfreien Prüfverfahren mit Hilfe der Röntgen- oder γ -Strahlen, elektrischer bzw. magnetischer Methoden oder des Ultraschalles, die auch innere Schäden und Fehlstellen erkennen lassen.

Um den vielfältigen Anforderungen der Technik und Wirtschaft entsprechen zu können, ist es z.B. nötig, die mechanischen Eigenschaften und im besonderen das Festigkeitsverhalten und das Formänderungsvermögen der Stoffe in ihren möglichen und technisch anwendbaren Zuständen zu untersuchen (statische und dynamische Festigkeitswerte).

Da der Transport des radioaktiv markierten Sandes bis zur Verwendungsstelle Angelegenheit der Lieferfirma ist, beantragten die Farbwerke Hoechst bei der BAM eine Prüfung des Sandgefäßes und des Abschirmbehälters. Das Ergebnis der Prüfung war, daß einige Konstruktionsteile verstärkt werden mußten und daß das Sandgefäß nicht als eigentliches Transportmittel anzusehen sei, sondern wegen der Verwendung auf einem begrenzten Meßplatz von der Genehmigung im Sinne der EVO ausgenommen werden könne.

Nachdem die Überprüfung der Behälterkonstruktion an Hand der § 72.32 und 72.34 der AEC-Vorschriften stattgefunden hat und die beanstandeten Teile korrigiert worden sind,

wurde der Abschirmbehälter als B-Verpackung im Sinne der Ra 452 der Klasse IVb, Anlage C zur EVO genehmigt.

5 — ERFAHRUNGEN BEIM EINSATZ

Das Sandgefäß, der Abschirmbehälter und die Traverse haben sich beim Einsatz am 7. März 1962 und am 4. April 1963 gut bewährt (Bild 15). Sämtliche Arbeitsvorgänge konnten in Anwesenheit von Vertretern der Gewerbeaufsicht reibungslos abgewickelt werden.



Bild 15 — Ostseeküste, Stakendorfer Strand, 7.3.1962.
Der mit 100 kg radioaktiv markierte Sand wird aus dem Abschirmbehälter herausgehoben

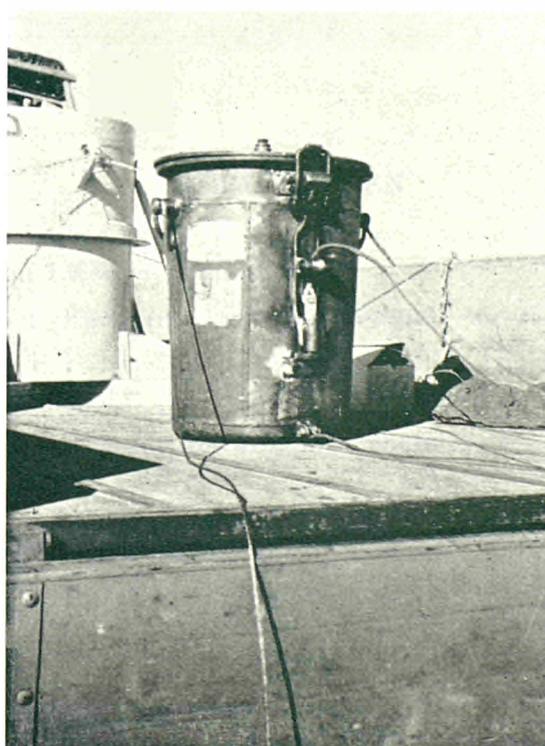


Bild 16 — Probe-Sandgefäß mit gewöhnlichem Sand gefüllt, linkes und rechtes Trageil sowie Kippseil (mit Zugseil) ausgelegt. Geschlossener und mit Drahtseilen auf dem LKW verspannter Abschirmbehälter

Bevor der Abschirmbehälter geöffnet wird, empfiehlt es sich, ein Probegefäß (im vorliegenden Falle wird das zuerst gebaute Sandgefäß benutzt) mit gewöhnlichem Sand zu füllen und unter Anwendung aller erforderlichen Handhabungen an die vorgesehene Einbringestelle zu fliegen (Bild 16) und dort zu entleeren. Auf diese Weise hat die für den Einbringevorgang zusammengestellte Arbeitsgruppe noch einmal die Möglichkeit, die einzelnen Funktionen zu üben und die Traverse zu prüfen.

SCHRIFTTUM

- 1 — H. GÖTTE und H. BECKER — Verfahren zur Oberflächenmarkierung von natürlichem Sand mit Radionukliden. Studie Nr. 3 (S. 19-25 dieses Heftes).
- 2 — N. G. GUSSEW — Leitfaden für Radioaktivität und Strahlenschutz. VEB-Verlag Technik, Berlin, 1957.
- 3 — B. T. PRICE, C. C. HORTON und K. T. SPINNEY — Radiation Shielding. Pergamon Press, 1957.

RISIKO UND NOTWENDIGE SCHUTZMASSNAHMEN
BEI DER ANWENDUNG VON RADIOISOTOPEN

von M. PETERSEN

I N H A L T

	<i>Seite</i>
1 — Allgemeines	46
2 — Begutachtung des Strahlenschutzes	47
2.1 — Physikalische Daten des Radionuklides Scandium-46	47
2.2 — Berechnung der Gammastrahlen-Dosis von Scandium-46	47
2.3 — Ergebnis	48
3 — Auflagen der Genehmigungsbehörden	50
4 — Strahlenschutzmaßnahmen	51
5 — Erfahrungen	52
Schrifttum	53

ABBILDUNGEN

Nr.

- 1 — Abschirmbehälter auf LKW mit Sandsäcken.
- 2 — Sandgefäß wird nach Entleerung auf Restbestände an radioaktiv markiertem Sand kontrolliert.
- 3 — Mess-Sonde auf dem Strand.
- 4 — Kontrolle der Strahlenbelastung am Abschirmbehälter.

1 — ALLGEMEINES

Die Anwendung von Radionukliden als Indikatoren setzt wie jede Verwendung energiereicher Strahlen einen wirksamen Strahlenschutz voraus.

Zur Kontrolle einer möglichen Strahlenbelastung von außen sind laufende Messungen der Personendosis erforderlich. Auch eine unbeabsichtigte Inkorporation radioaktiver Nuklide sollte möglichst ausgeschlossen bleiben [6, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 31, 37].

Als das Atomgesetz der Bundesrepublik Deutschland vom 23. Dezember 1959 in Kraft trat [2], war der Weg frei für eine Verordnung, die den Schutz vor Schäden durch Strahlen radioaktiver Stoffe regelt [5, 20]. « In der Ersten Strahlenschutzverordnung werden die Grundnormen der Europäischen Atomgemeinschaft (Euratom) [38] und die vom Ministerrat der Europäischen Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit (OEEC) am 12. Juni 1959 beschlossenen Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte [39] sowie die Empfehlungen der Internationalen Kommission für Strahlenschutz (International Commission on Radiological Protection — ICRP) aus den Jahren 1958 und 1959 [13, 36] berücksichtigt » [22]. Inzwischen sind weitere Richtlinien, z.B. für die chemische Industrie [3] erarbeitet worden.

Die Anwendung von Radionukliden löste auch haftungsrechtliche Probleme aus; in naturwissenschaftlicher und in rechtlicher Sicht sind folgende bis dahin nicht bekannte Risiken zu verzeichnen :

1. das Risiko, das sich aus dem Umgang mit ionisierender Strahlung ergibt und
2. beim Umgang mit Kernbrennstoffen das Kritikalitätsrisiko [7, 35].

Seit etwa zehn Jahren werden Radionuklide als Indikatoren beim Messen der Schlick- und Sandwanderung in Ästuarien und Küstengewässern eingesetzt (Tracertechnik). In den hierüber erschienenen Arbeiten wurden Fragen des Strahlenschutzes — wenn überhaupt — nur kurz behandelt [1, 10, 11, 12, 15, 18, 32, 33, 34], so daß eine ausführlichere Darstellung der im Rahmen dieses Forschungsvertrages beschrittenen Wege angebracht erschien.

Die Forschungsaufgabe besteht darin, die Kinetik der Erosion und des Sandtransportes an sandigen Brandungsküsten zu erfassen. Es ist ein Verfahren zu erproben, eine bestimmte Menge mit Scandium-46 radioaktiv markierten Seesandes mittels Hubschrauber auf dem Brandungsriff auszusetzen, die von den Tracern durchwanderten Entfernungen zu messen und die entsprechenden Wandergeschwindigkeiten zu bestimmen.

Das Brandungsriff liegt etwa 120-300 m vor der Uferlinie und im allgemeinen etwa 1,5 bis 6 m unter der Wasserfläche. Es wurde bei der Vorbereitung des Arbeitsprogramms davon ausgegangen, daß der markierte Seesand (100 kg) sich nach etwa 14 Tagen mit dem Verdünnungsfaktor 1 : 300 000 auf dem Riff ausbreitet. Für die Untersuchung wird eine Gesamtaktivität von 2-3 Curie verwendet. 3 C/100 kg entspricht einer spezifischen Aktivität von 30 $\mu\text{C/g}$. Die radioaktive Substanz wird abriebfest chemisch an die einzelnen Sandkörner gebunden. Versuche, bei denen mit Seewasser versetzte markierte Sandproben *in vitro* bis zu 60 Stunden lang in der Schüttelmaschine mit einer Frequenz von 80 Bewegungen pro Minute geschüttelt wurden, ergaben, daß die Aktivitätsverluste vernachlässigbar sind. Messungen der bei diesen Versuchen in das Seewasser übergegangenen Radioaktivität zeigten, daß die abgeriebene Menge kleiner als 0,1 % der vorhandenen Aktivität ist [8].

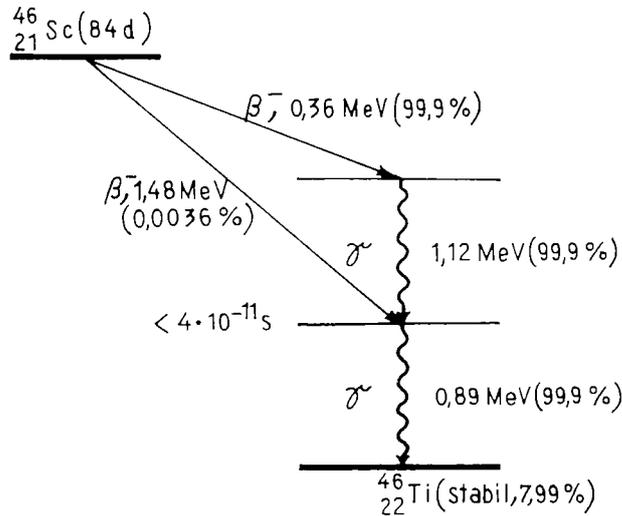
Mit Rücksicht auf die Badesaison war zu prüfen, ob die Messungen ohne Gefahr für Badende auch während der Sommermonate durchgeführt werden können oder ob bestimmte Bedingungen bei der Wahl des Zeitpunktes für das Aussetzen des radioaktiv markierten Seesandes zu beachten sind.

Die noch zu verantwortenden Grenzen wurden von einem Institut für Biophysik erarbeitet und in einer gutachtlichen Stellungnahme vorgelegt :

2 — BEGUTACHTUNG DES STRAHLENSCHUTZES

2.1 — Physikalische Daten des Radionuklides ^{46}Sc ⁽¹⁾

Zerfallsschema :



^{46}Sc zerfällt mit einer Halbwertszeit von 84 Tagen in das stabile Titanisotop ^{46}Ti , das im natürlichen Titan-Isotopengemisch mit einem prozentualen Anteil von 7,99 % enthalten ist. Für die folgenden Berechnungen kann gemäß dem Zerfallsschema angenommen werden, daß der Zerfall des Nuklides ^{46}Sc in ^{46}Ti praktisch mit einer Emissionswahrscheinlichkeit von 100 % durch Emission eines Betateilchens mit einer Maximalenergie von 0,36 MeV erfolgt. Die Betaemission ist begleitet von 2 Gammaquanten mit 1,12 bzw. 0,89 MeV Energie, die also auch mit 100 % emittiert werden. Die Möglichkeit der Emission eines Betateilchens von 1,48 MeV Maximalenergie kann wegen der geringen Emissionswahrscheinlichkeit (0,0036 %) vernachlässigt werden.

2.2 — Berechnung der Gammastrahlen-Dosis von ^{46}Sc

a) Zur Abschätzung der Dosis der Gammastrahlung, die von dem mit radioaktivem ^{46}Sc markierten Sand emittiert wird, ist die Kenntnis der Dosiskonstanten I des Radionuklides erforderlich. Die Dosiskonstante gibt die Dosisleistung in Röntgen pro Stunde (r/h) der Gammastrahlung einer punktförmigen Strahlenquelle von 1 Millicurie (mc) des betr. Radionuklides in 1 m Abstand in Luft an. Aus den physikalischen Daten eines gammastrahlenden Radionuklides läßt sich die Dosiskonstante nach der folgenden Formel berechnen :

$$I_{\gamma} = 5,80 \cdot 10^{25} \sum_j P_j \cdot E_j \cdot \mu_j^{(e)} \text{ r/h}$$

für eine Punktquelle von 1 mc in Luft.

⁽¹⁾ Die Abschnitte 2.1 bis 2.3 sind einer gutachtlichen Stellungnahme von Prof. Dr. H. Muth, Direktor des Instituts für Biophysik der Universität des Saarlandes, Homburg (Saar), entnommen.

Hierin bedeuten :

E_j : die Energie der j -ten Gammalinie in MeV

P_j : die Emissionswahrscheinlichkeit der j -ten Gammalinie

$\mu_j^{(e)}$: der zugehörige Absorptionskoeffizient in Luft pro Elektron.

Die Summation erstreckt sich über das gesamte Gammastrahlspektrum des Radionuklids.

b) Bei Verwendung der unter 2.1 zusammengestellten Daten für ^{46}Sc errechnet sich die Dosiskonstante dieses Nuklides zu :

$$I_\gamma = 11,1 \text{ r/h für } 1 \text{ mc in } 1 \text{ cm Abstand in Luft.}$$

c) Für die Dosisleistung I_γ der Gammastrahlung von einer punktförmigen Quelle von 3 Curie ^{46}Sc hinter einer Wasserschicht von 2,5 m ergibt sich :

$$I_\gamma = 2,4 \cdot 10^{-1} \text{ r/h} = 0,24 \text{ mr/h.}$$

Bei der Berechnung dieses Wertes aus der unter b) genannten Dosiskonstanten für ^{46}Sc wurde ein kleiner Wert für den Absorptionskoeffizienten der Gammastrahlung in Wasser eingesetzt, der die Streuung der Strahlung unberücksichtigt läßt (« Energie-Absorptionskoeffizient »). Der oben genannte Wert 0,24 mr/h stellt daher unter der Annahme einer Punktquelle von 3 Curie einen oberen Grenzwert dar, der einen großen Sicherheitsfaktor einschließt.

Weitere Überlegungen haben ergeben, daß es im vorliegenden Falle ohne weiteres vertretbar ist, bei der Dosisabschätzung einen größeren Wert des « Schwächungskoeffizienten » einzusetzen, der auch die Streuprozesse der Strahlung einschließt. Es zeigt sich dann, daß bei einer Strahlenenergie von 1 MeV zur Herabsetzung der Dosisleistung um den Faktor 10 etwa 50 cm Wasser ausreichen. Für die Dosisleistung hinter 2,5 m Wasser ergibt sich dann ein Wert von etwa 5 $\mu\text{r/h}$ (Mikroröntgen pro Stunde).

Die Dosis der natürlichen Strahleneinwirkung auf die Gonaden des Menschen beträgt im Vergleich hierzu etwa 11 $\mu\text{r/h}$, und dieser Einwirkung ist jeder Mensch während seines gesamten Lebens ausgesetzt. Der Wert von 5 $\mu\text{r/h}$ für die Dosisleistung von 3 Curie ^{46}Sc hinter 2,50 m Wasser liegt also wesentlich unter dem Wert der natürlichen Strahleneinwirkung.

2.3 — Ergebnis

Die für eine Untersuchungsreihe verwendeten 100 kg Sand, die 3 Curie ^{46}Sc enthalten, werden aus einem Sandgefäß auf die Gewässersohle ausgeschüttet [28].

Alle Strahlenschutzfragen, die mit dem Transport des radioaktiven Materials von der Lieferfirma zum Verwendungsort an der Küste zusammenhängen, werden nicht behandelt. Hierfür ist die Lieferfirma verantwortlich, die diese Fragen im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für Umgang und Transport mit der zuständigen Aufsichts- und Genehmigungsbehörde klären muß.

Die mit der Herstellung des Sandgefäßes und des Abschirmbehälters für den Transport des radioaktiv markierten Sandes verbundenen Untersuchungen im Hinblick auf den Strahlenschutz wurden in der Studie Nr. 4 behandelt [39].

Das spezifische Gewicht des Sandes beträgt 2,6, so daß 100 kg Sand ein Volumen von 38,5 l ausfüllen. Der eingebrachte Sand wird sich verhältnismäßig schnell auf dem Meeresboden verteilen. Wenn man trotzdem die extreme theoretische Annahme macht, dass die gesamte

Aktivität von $3 \text{ C } ^{46}\text{Sc}$ als Punktquelle wirksam sei, so würde nach den Ergebnissen der in Abschnitt 2.2 c) beschriebenen Abschätzungen die Dosis in 2,5 m Abstand im Wasser unter ungünstigsten Annahmen etwa 0,24 Milliröntgen pro Stunde betragen. Da nach den vorliegenden Angaben die Wassertiefe im allgemeinen 3,0 m beträgt, bestünde unter der gemachten extremen Annahme die Möglichkeit, daß die strahlenempfindlichsten Körperteile (Gonaden) einer badenden Person, welche etwa die Stelle überschwimmt, der Einwirkung einer Strahledosis von 0,24 mr/h, d.h. einer Dosisleistung von etwa $0,07 \mu\text{r/s}$ (Mikroröntgen pro Sekunde) ausgesetzt wären. Dieser Wert liegt bei 1/10 des Wertes, der für Beschäftigte in Strahlenbetrieben nach den in der ersten Deutschen Strahlenschutzverordnung [5] bzw. den Empfehlungen der Internationalen Kommission für Strahlenschutz festgelegten maximal zulässigen Dosiswerten noch zugelassen ist. (Die durchschnittliche maximal zulässige Wochendosis für Beschäftigte in Strahlenbetrieben beträgt 100 mr. Das entspricht bei 40-stündiger Wochenarbeit einer Dosisleistung von 2,5 mr/h, der die Beschäftigten während der gesamten Arbeitszeit ausgesetzt sein können !)

Im vorliegenden Falle muß jedoch angenommen werden, daß sich die betreffende Person als Badender oder Schwimmer jeweils nur kurze Zeit in einem Abstand von 2,5 m von der als punktförmig angenommenen Strahlenquelle von $3 \text{ C } ^{46}\text{Sc}$ befindet. Ihre mögliche gesamte Strahlenbelastung wird also tatsächlich noch viel weiter, als oben abgeschätzt wurde, unterhalb der Werte liegen, die für Beschäftigte in Strahlenbetrieben (Kontrollbereichen) oder für Personen, die sich dauernd in sogenannten « Überwachungsbereichen » (erste Strahlenschutzverordnung der Bundesrepublik Deutschland, § 29, (4)) befinden, als maximal zulässige Werte festgelegt sind. Ein weiterer Sicherheitsfaktor ergibt sich noch dadurch, daß der radioaktive Sand sich schnell und mit der Zeit in immer stärkerem Maße verteilt und die Aktivität sich damit verdünnt, so daß der unter der Annahme des Vorliegens einer punktförmigen Strahlenquelle berechnete oben genannte Dosiswert nur einen theoretischen oberen Grenzwert darstellt, der praktisch niemals erreicht werden wird.

Eine Strahlengefährdung badender oder anderer Personen ist also bei dem beschriebenen Verfahren und bei Verwendung der dort angegebenen Aktivität an ^{46}Sc ausgeschlossen.

Die zitierten Versuchsergebnisse der Herstellerfirma des mit ^{46}Sc markierten Sandes zeigen, daß die Abgabe des Radionuklides an das Meerwasser außerordentlich gering und damit vernachlässigbar ist. Diese Tatsache ist eine Voraussetzung für die technische Anwendbarkeit. *Wenn man diesen Untersuchungsbefund zu Grunde legt, ist gleichzeitig ausgeschlossen, daß bei badenden, schwimmenden oder anderen Personen etwa bei der Aufnahme von Wasser in den Körper ^{46}Sc in gefährlichen Mengen ebenfalls eingeführt werden kann.*

Die maximal zulässige Konzentration von ^{46}Sc in Trinkwasser für den Fall der Daueraufnahme über viele Jahrzehnte beträgt $4 \cdot 10^{-5} \mu\text{c/cm}^3$ oder $4 \cdot 10^{-5} \text{ C/m}^3$; $3 \text{ C } ^{46}\text{Sc}$ müßten danach in etwa $75 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ Wasser gleichmäßig verteilt sein, wenn die maximal zulässige Konzentration für Trinkwasser bei Daueraufnahme nicht überschritten werden sollte. Die hierbei gemachten sehr strengen Annahmen (Trinkwasser und tägliche Aufnahme durch Menschen über Jahrzehnte) zusammen mit den zitierten Versuchsergebnissen der Herstellerfirma zeigen eindeutig, daß eine Gefährdungsmöglichkeit von Personen durch Inkorporation des ^{46}Sc nicht besteht.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß auf Grund der Halbwertszeiten des ^{46}Sc von 84 Tagen durch den physikalischen Zerfall des Nuklides nach 840 Tagen, d.h. nach etwa 2,3 Jahren nur noch 1/1000 der eingebrachten Aktivität, d.h. von $3 \text{ C } ^{46}\text{Sc}$ noch 3 mc überhaupt vorhanden sind.

Die Untersuchungen können also ohne Gefahr für Lebewesen jederzeit durchgeführt werden. Zu einer ähnlichen Beurteilung der Gefährdung kam man in Frankreich [11], in Japan [12] und in England [32]. Auch in fischereilicher Hinsicht ist das Problem erörtert worden [16].

3 — AUFLAGEN DER GENEHMIGUNGSBEHÖRDEN

Die Genehmigungsbehörde für die Lieferfirma des radioaktiv markierten Sandes beschränkte ihre Auflagen im wesentlichen auf die im radiochemischen Labor anfallenden Arbeiten. Da sie für unsere Aufgabe nicht unmittelbar von Bedeutung sind, wird von einer Mitteilung abgesehen.

Die Genehmigung zum Bezug, zum Transport und der Verwendung von Scandium-46 für die Erforschung der Sandwanderung an den Küsten der Nord- und Ostsee Schleswig-Holsteins erteilt der Minister für Arbeit, Soziales und Vertriebene des Landes Schleswig-Holstein. Als gesetzliche Grundlagen für diese Genehmigung gelten das Atomgesetz vom 23. Dezember 1959 [2] und die Erste Strahlenschutzverordnung vom 24. Juni 1960 [5]. Dem Antrag auf Genehmigung wurde die gutachtliche Stellungnahme von Prof. Dr. H. Muth (vergl. Abschnitt 2) beigelegt.

Die Lieferfirma läßt den radioaktiv markierten Sand bis zur Verwendungsstelle transportieren, öffnet dort den Abschirmbehälter, legt das Kippseil und die Tragseile aus [29] und übergibt den Sand an den Leiter des Forschungsvorhabens. Die Genehmigungen umfassen die Beförderung des geschlossenen Sandgefäßes mittels Hubschrauber von der Ufernähe bis zur Einbringestelle auf dem Sandriff (Transportweg etwa 150-500 m), das Ausschütten des Sandes auf die Gewässersohle und das Messen der Ausbreitung der ab hier offenen, künstlichen Strahler.

Die Genehmigung erging unter folgenden Auflagen :

- 1) Bei allen Arbeiten ist der Strahlenschutzgrundsatz zu beachten, wonach die Strahlenbelastung von Personen so gering gehalten werden muß, wie Art und Umfang der Genehmigung es gestatten.
- 2) Beim Arbeiten mit offenen radioaktiven Stoffen sind die « Richtlinien zum Schutze gegen ionisierende Strahlen bei Verwendung und Lagerung offener radioaktiver Stoffe » [3] sowie die « Sicherheitsmaßnahmen beim Umgang mit Radioisotopen » [13] zu beachten.
- 3) Der Zutritt zu den Arbeitsplätzen ist allen unbefugten Personen zu untersagen.
- 4) Um den planmäßigen Ablauf des Versuchs sicherzustellen, ist vor dem Ausbringen des aktivierten Sandes ein Blindversuch unter technisch gleichen Voraussetzungen mit normalen Sand durchzuführen.
- 5) Die Entnahme der Tragseile aus dem Bleischutzbehälter ist zur Verringerung der Strahlenbelastung mit geeigneten, abstandhaltenden Werkzeugen vorzunehmen.
- 6) Während des Versuchs mit dem aktivierten Seesand dürfen sich in Windrichtung hinter dem Behälter keine Personen aufhalten, die durch etwa verwehten Sand dort gefährdet werden könnten.
- 7) Das Sandgefäß ist konstruktiv so auszuführen, daß es sich beim Auslösen der Deckelverriegelung sofort unter Wasser öffnet.
- 8) Das entleerte und gespülte Sandgefäß ist zunächst noch nicht auf dem LKW, sondern an einem geeigneten Platz abzusetzen, wo es von einem Sachkundigen auf verbliebene Reste aktivierten Sandes zu überprüfen ist.
- 9) Die evtl. erforderliche Reinigung des Gefäßes ist nur durch einen Sachverständigen für den Strahlenschutz unter Beachtung der erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen durchzuführen.
- 10) Die Stelle, an der der aktivierte Seesand eingebracht wurde, ist durch eine Markierungsboje mit gut erkennbarem leuchtenden Farbanstrich zu kennzeichnen.
- 11) Die radioaktiven Stoffe, mit denen auf Grund dieser Genehmigung umgegangen wird, sind stets so zu beaufsichtigen, daß eine unbefugte Entnahme und ein unbefugter Umgang damit verhindert wird.

4 — STRAHLENSCHUTZMASSNAHMEN

Der radioaktiv markierte Sand wird auf einem Lastkraftwagen vom radiochemischen Labor in Frankfurt (M) bis an die Küste in Begleitung des für den Strahlenschutz verantwortlichen Chemikers der Lieferfirma befördert. Dem LKW werden Sandsäcke beigeladen (Bild 1), damit bei einem eventuellen Unfall sofort Abschirmmaterial griffbereit zur Verfügung steht [29].

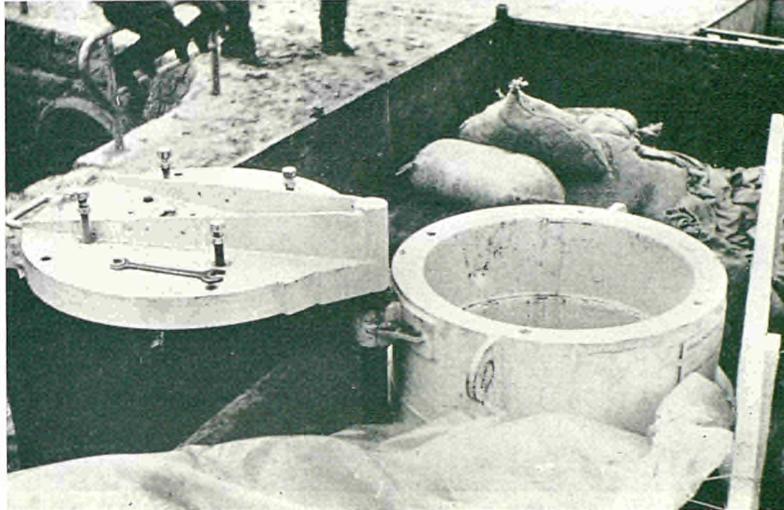


Bild 1 — Abschirmbehälter auf LKW mit Sandsäcken (4.4.1963)

Fot. M. Petersen

Während der Vorbereitung zur Übergabe des Sandgefäßes wird das zu überfliegende Gelände von unbefugten Personen freigehalten. Der Hubschrauber wird über Sprechfunk an die durch eine Boje bezeichnete Einbringestelle eingewiesen. Durch Sprechfunk wird ebenfalls das Ausklinken der Trageleine aus der Traverse [39] und das mehrfache Eintauchen oder Spülen des Sandgefäßes nach der Entleerung gesteuert.

Das entleerte Sandgefäß wird dann in der Nähe des LKW abgesetzt und auf eventuelle noch anhaftende Strahlung kontrolliert (Bild 2).



Bild 2 — Sandgefäß wird nach Entleerung auf Restbestände an radioaktiv markiertem Sand kontrolliert (7.3.1962)

Fot. M. Petersen

Die beiden LKW-Fahrer, der Chemiker der Lieferfirma und die dem Sandgefäß am nächsten kommenden Mitarbeiter der Meßgruppe werden mit Filmplaketten und Taschendosimetern ausgerüstet.

Nach dem Einbringen des radioaktiv markierten Sandes wird der Strand in Ufernähe auf künstliche Strahlung hin überwacht (Bild 3).



Bild 3 — Meßsonde auf dem Strand

Fot. R. Dolezal

5 — ERFAHRUNGEN

Nach Feststellungen des zuständigen Gewerbeaufsichtsamtes als Aufsichtsbehörde ergaben sich für die Strahlenbelastung folgende Werte der Dosisleistung :

Lastkraftwagen

- a) Führerhaus : auf der Sitzfläche an der Rückenlehne 0,05 mr/h
in Kopfhöhe vor dem Fenster der Zwischenwand 0,1 mr/h
- b) Ladefläche : Achterkante 0,05 mr/h

Abschirmbehälter

- a) 1 m von Mitte Behälter 4,0 bis 5,0 mr/h
- b) direkt am Behälter (Bild 4) 7,0 bis 8,0 mr/h

Die beiden Kraftfahrer haben während des Transportes eine Strahlendosis erhalten, die weit unter der zulässigen Grenze liegt. (Sie waren nur kurzfristig beim Auflegen und Abnehmen der Plane und Spriegel auf der Ladefläche beschäftigt.)

Das Öffnen des Abschirmbehälters dauerte etwa 10 Minuten. Der Chemiker der Lieferfirma kam dem Sandgefäß am nächsten, weil er die ringförmig mit Bindedraht auf dem Deckel des Sandgefäßes befestigten Kipp- und Tragseile (diese Anordnung ist nötig, um Verhedderungen zu vermeiden) lösen und herausnehmen mußte. Leider wäre die von der Genehmigungsbehörde verlangte Entnahme der Seile mit abstandhaltenden Werkzeugen in diesem Fall nur unter größten Schwierigkeiten zu verwirklichen gewesen. Nach nochmaliger Überprüfung der örtlichen Verhältnisse unter Berücksichtigung der gesetzlichen Bestimmungen nahm die Genehmigungsbehörde im Benehmen mit der Aufsichtsbehörde daher von der Auflage Abstand.

Die Arbeit dauerte zudem nur eine Minute. Dabei waren die Hände und das Gesicht hauptsächlich betroffen, der Oberkörper nur wenig, da der Chemiker meistens in gebückter Haltung arbeitete. Sein Taschendosimeter zeigte nach der Übergabe des Sandgefäßes wie vorher erwartet auch nur 0,05 r an.



Bild 4 — Kontrolle der Strahlenbelastung am Abschirmbehälter (7.3.1962)

Fot. M. Petersen

Der Flugzeugführer kam nie näher als 5-6 m an das mit radioaktiv markiertem Seesand gefüllte Sandgefäß heran; die erhaltene Strahlung lag — wie auch bei den übrigen Teilnehmern der Arbeitsgruppe — unter der zulässigen Dosis.

In dem leeren Sandgefäß befanden sich noch geringe Reste an aktivem Sand; jedoch war die Strahlung an keiner Stelle grösser als 3-4 mr/h. Unter Beachtung der gebotenen Vorsichtsmaßnahmen wurde das leere Sandgefäß wieder in den Abschirmbehälter eingesetzt und dessen Deckel verschlossen.

Außer den Vertretern der Lieferfirma, der Genehmigungsbehörde und der Aufsichtsbehörde hat sich keiner der an der Aktion Beteiligten dem Sandgefäß mehr als 5 m genähert.

Die zuständige Aufsichtsbehörde äußerte in ihrer Stellungnahme zu der Messung im Abschnitt I (Ostsee), « daß die Art und Weise der Durchführung vom Standpunkt des Strahlenschutzes der Beschäftigten grundsätzlich zu keinen Bedenken Anlaß gibt. » Zu dem Abschnitt II (Westerland auf Sylt) schreibt die Genehmigungsbehörde, « daß das gesamte Vorhaben sorgfältig geplant und vorbereitet war. »

SCHRIFTTUM

- 1 — I. I. ARLMAN, I. N. SVASEK und B. VERKERK — Die Anwendung von radioaktiven Isotopen zum Studium des Sandtransportes durch strömendes Wasser. Philips' Technische Rundschau, 21, Nr. 6, 1959/60.
- 2 — Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) vom 23.12.1959. Bundesgesetzblatt I, S. 814, 1959.
- 3 — Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie : Richtlinien (Nr. 19) zum Schutze gegen ionisierende Strahlen bei Verwendung und Lagerung offener radioaktiver Stoffe. Verlag Chemie, Weinheim/Bergstraße, 1963.

- 4 — Th. DEHLER — Atomwirtschaft und Atomrecht. Veröffentl. d. Inst. f. Energierecht an der Universität Bonn, H. 3/4, S. 5-20, 1961.
- 5 — Erste Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Strahlen radioaktiver Stoffe (Erste Strahlenschutzverordnung) vom 24.6.1960. Bundesgesetzblatt I, S. 430, 1960.
- 6 — H. FASSBENDER und Mitarbeiter — Einführung in die Meßtechnik der Kernstrahlung und die Anwendung der Radioisotope. — 2. neubearbeitete und erweiterte Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1962.
- 7 — P. GIESEKE — Rechtsfragen des Strahlenschutzes. Veröffentl. d. Inst. f. Energierecht an der Universität Bonn, H. 3/4, S. 68-81, 1961.
- 8 — H. GÖTTE und H. BECKER — Verfahren zur Oberflächenmarkierung von natürlichem Sand mit Radionukliden. Studie Nr. 3, Frankfurt (M) (S. 19-25 dieses Heftes).
- 9 — H. HOLTHUSEN — Bedeutung und Schwierigkeiten einer gesetzlichen Regelung des Strahlenschutzes. Atomkernenergie, 4, H. 7/8, S. 257-261, 1959.
- 10 — R. HOURS et P. JAFFRY — Application des isotopes radioactifs à l'étude des mouvements des sédiments et des galets dans les cours d'eau et en mer. La Houille Blanche, Nr. 3, 1959.
- 11 — R. HOURS, W. D. NESTEROFF et V. ROMANOVSKY — Méthode d'étude de l'évolution des plages par traceurs radio-actifs. Travaux du Centre de Recherches et d'Etudes Océanographiques, 1, 11, 1955.
- 12 — S. INOSE und H. SHIRIASHI — The measurement of littoral drift by radio isotopes. The Dock and Harbour Authority, 36, S. 284-288, 1956.
- 13 — Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) — Safe handling of radioisotopes (Sicherheitsmaßnahmen beim Umgang mit Radioisotopen.) Schriftenreihe d. Bundesministers f. Atomkernenergie u. Wasserwirtschaft, Strahlenschutz, H. 14 u. 23, 1958/1959.
- 14 — R. G. JAEGER — Die Ausarbeitung internationaler Strahlenschutz-Empfehlungen durch die International Commission on Radiological Protection (ICRP). Atomkernenergie, 4, H. 7/8, S. 261-267, 1959.
- 15 — P. JAFFRY et R. HOURS — L'étude du transport littoral par la méthode des traceurs radioactifs. Cahiers océanographiques du C.O.E.C., XI, 7, 1959.
- 16 — H. KAUTSKY — Über Herkunft, Verteilung und Nachweismöglichkeit künstlich radioaktiver Stoffe im Meer. Deutsche Hydrographische Zeitschr., 14, H. 4, S. 121-135, 1961.
- 17 — W. KERN — Strahlengefahren und Strahlenschutz. Wasser und Boden, 12, H. 4, S. 117-119, 1960.
- 18 — H.-A. KLEIN — Beobachtungen des Schlicktransportes in einem Tidefluß mit Hilfe radioaktiver Leitstoffe. Die Wasserwirtschaft, 50, H. 4, S. 95-101, 1960.
- 19 — W. KLIEFOTH — Atomkern-Reaktoren. Schriftenreihe des Deutschen Atomforums, H. 2, 1963.
- 20 — W. KUMPF, B. H. DIETERICH und J. KUMPF — Radioaktive Substanzen und Wasser — Eine Dokumentation. München, 1960.
- 21 — H. LANGENDORFF — Das Strahlenrisiko und seine Probleme. Schriftenreihe des Deutschen Atomforums, H. 8, 1961.
- 22 — H. W. LEVI — Radioaktive Stoffe, Anwendung künstlicher Radionuklide sowie Maßnahmen zum Schutz vor Strahlengefahren. Schriftenreihe des Deutschen Atomforums, H. 6, 1961.

- 23 — H. MUTH — Strahlenschutzprobleme bei der Anwendung radioaktiver Isotope. Strahlentherapie, 97, S. 246, 1955.
- 24 — H. MUTH — Zusätzliche Strahlenbelastung durch zivilsatorische Einflüsse. Wissenschaftliche Grundlagen des Strahlenschutzes, herausgegeben von B. Rajewsky, Verlag G. Braun, Karlsruhe, 197, 1957.
- 25 — H. MUTH — Einige neue Gesichtspunkte zur Festlegung höchstzulässiger Dosiswerte für ionisierende Strahlen. Strahlentherapie, 193, 66, 1957.
- 26 — H. MUTH — Spezielle Fragen des Strahlenschutzes der Bevölkerung. Strahlentherapie, 106, 58, 1958.
- 27 — H. MUTH und E. OBERHAUSEN — Untersuchungen im Ganzkörperzähler nach Inkorporation von Radionukliden. Strahlentherapie, 120, 550, 1963.
- 28 — M. PETERSEN — Über die Bedeutung von radioaktiv markiertem Sand für wasserwirtschaftliche Aufgaben. Studie Nr. 1, Kiel (S. 3-14 dieses Heftes).
- 29 — M. PETERSEN, B. BÖTTCHER und R. DOLEZAL — Messung der Sandwanderung in der Brandungszone mit Scandium-46 — Meßbericht I, Ostsee — Studie Nr. 6, Kiel (S. 57-86 dieses Heftes).
- 30 — M. PETERSEN, G. SCHULZE-PILLOT und E. THOMSCHKE — Entwicklung eines Sandgefäßes, eines Abschirmbehälters und einer Traverse zum Transport von aktivem Seesand. Studie Nr. 4, Kiel-Frankfurt (M) (S. 27-44 dieses Heftes).
- 31 — B. RAJEWSKI und W. POHLIT — Strahlenschutzmaßnahmen. VDI-Zeitschrift, 102, H. 4, 1960.
- 32 — W. J. REID — Coastal experiments with radioactive tracers. Recent works on the coast of Norfolk. The Dock and Harbour Authority, 39, S. 84-88, 1958.
- 33 — H. SCHULZ und G. MEYN — Sandwanderungsmessungen mit radioaktiven Leitstoffen in den deutschen Küstengewässern in den Jahren 1961/62. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 7, H. 2, S. 29-34, 1963.
- 34 — H. SCHULZ und G. STRÖHL — Untersuchung der Sandwanderung im Bereich der deutschen Küste mit radioaktiven Leitstoffen. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 4, S. 17-27, 1960.
- 35 — H. WEITNAUER — Atomschäden — Haftungs- und Versicherungsfragen. Veröffentl. d. Inst. f. Energierecht an der Universität Bonn, H. 3/4, S. 21/46, 1961.
- 36 — J. ZAKOVSKY — Die Auswirkungen der neuen Empfehlungen der internationalen Kommission für Strahlenschutz (ICRP) auf bestehende Strahlenschutzmaßnahmen. Atomkernenergie, 4, H. 7/8, S. 322-327, 1959.
- 37 — R. ZAYC — Radioaktivität und Wasserwirtschaft. Wasser und Boden, 12, H. 4, S. 108-110, 1960.
- 38 — Richtlinien zur Festlegung der Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen. Amtsbl. d. Europäischen Gemeinschaften, S. 221, 1959, u. Bundesgesetzbl., Teil II, S. 1230, 1959.
- 39 — Gesetz zu der Entscheidung des Rates der OEEC vom 12.6.1959 über die Annahme von Strahlenschutzvorschriften vom 3.7.1961. Bundesgesetzbl., Teil II, S. 806, 1961.

MESSUNG DER SANDWANDERUNG IN DER BRANDUNGSZONE
MIT SCANDIUM 46

MESSBERICHT I, OSTSEE

von M. PETERSEN, B. BÖTTCHER und R. DOLEZAL

I N H A L T

	<i>Seite</i>
1 — Vorbereitungen	58
1.1 — Auswahl des Arbeitsteams	58
1.2 — Markierung des Seesandes	58
1.3 — Geräteentwicklung	60
1.3.1 Sandgefäß, Transportbehälter und Traverse	60
1.3.2 Tauchsonde mit Strahlungsdetektor	60
1.3.3 Zähl- und Steuergeräte	62
1.3.4 Spannungsversorgung	62
1.4 — Funktionsprüfung und Eichung der Meßanordnung	63
1.4.1 Funktionsprüfung	63
1.4.2 Eichung	64
1.4.3 Erprobung der Meßanordnung mit Hubschrauber	66
1.5 — Ortung	67
1.6 — Lieferungsaufträge und Dienstleistungsverträge	72
1.7 — Genehmigungsanträge	72
2 — Durchführung der Messungen	72
2.1 — Organisation	72
2.2 — Messen der natürlichen Radioaktivität (Nulleffekt)	73
2.3 — Messen der künstlichen Radioaktivität (Aktivitätsmessung)	75
3 — Aufbereitung der Meßwerte	76
4 — Bewertung und Folgerungen	77
Schrifttum	86

1 — VORBEREITUNGEN

Für die Planung und Ausführung von Küstenschutzwerken ist die Messung der Sandwanderung an Brandungsküsten notwendig. Die herkömmlichen Meßmethoden und Meßgeräte reichen nicht aus, den in der Brandungszone wandernden Sand mit der erforderlichen Genauigkeit zu erfassen [2].

Es ist seit Jahren an Hand von Veröffentlichungen zu beobachten, wie die Anwendung von Isotopen in der Wasserwirtschaft Fortschritte macht. So auch bei der Messung der Wanderung von Sand und Schlick in Flüssen und Wattströmen [3].

Aus Gesprächen zwischen Wasserwirtschaftlern und Physikern über die Möglichkeiten, radioaktive Isotope in der Brandungszone einzusetzen, entstand ein Untersuchungs-Programm, das sowohl vom Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein als auch vom Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft (heute Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung) gefördert worden ist.

Die Untersuchungen wurden zunächst für einen Strandabschnitt an der Ostseeküste vorbereitet, weil hier die hydrographischen Verhältnisse der praktisch gezeitenfreien Ostsee im Vergleich zu der eigentlichen Brandungsküste einfach sind (Bild 1). Nach den gesammelten Erfahrungen sollte die Untersuchungsmethode später unter erschwerten Bedingungen an der Nordseeküste erprobt und vertieft werden.

1.1 — Auswahl des Arbeitsteams

Das Messen in der Brandungszone, dem Grenzgebiet zwischen Land und Meer, ist mit besonderen Schwierigkeiten verbunden, weil der Einsatz von Booten oder Schiffen hier im allgemeinen nicht möglich ist. Wenn mit radioaktiv markierten Stoffen gearbeitet werden soll, ist eine fortlaufende Kontrolle des Untersuchungsgebietes nach dem Einbringen solcher Stoffe möglichst auch bei unruhiger See erwünscht. Deshalb wurde der Einsatz eines Hubschraubers erwogen und mit Fachexperten geprüft.

Schon im ersten Anfang war klar ersichtlich, daß das Meßprogramm durch eine Arbeitsgruppe aus folgenden Fachgebieten bewältigt werden mußte :

1. Bauingenieur der Wasserwirtschaft (Gewässerkundler) als Aufgabensteller und Leiter der Untersuchungen
2. Physiker
3. Chemiker
4. Geodäten
5. Geologen
6. Hubschrauber-Piloten.

In einer Reihe von gemeinsamen Besprechungen wuchs jeder in die Denk- und Handlungsweise der anderen Disziplinen hinein, so dass offene Fragen in Einzelbesprechungen vertieft und meist auch gelöst werden konnten.

1.2 — Markierung des Seesandes

Eins der wichtigsten Probleme lag in dem Wunsch, für die Messungen ein Markierungsverfahren zu verwenden, das den natürlichen Verhältnissen praktisch gleich käme. Es sollte der natürliche, an der Meßstelle vorhandene Sand genommen und so gekennzeichnet werden, daß die physikalischen Eigenschaften der einzelnen Sandkörner (spezifisches Gewicht, Form, Festigkeit usw.) nicht verändert würden.

Diese Aufgabe und die damit verbundenen Fragen wurden von den Farbwerken Hoechst AG. in Frankfurt (M)-Hoechst übernommen und nach Durchführung von Grund-

Bild 1



satzversuchen und Entwicklung eines neuen patentreifen Verfahrens [1] zur vollen Zufriedenheit erledigt.

1.3 — Geräteentwicklung

Die Verwendung von radioaktiv markiertem Sand für die Messung der Sandwanderung bedeutete, daß die Geräte zum Teil vollkommen neu entwickelt oder für den vorliegenden Zweck speziell zusammengesetzt werden mußten.

1.3.1 — Sandgefäß, Transportbehälter und Traverse

Der radioaktiv markierte Seesand sollte an der Küste in unmittelbarer Nähe des Meßabschnittes vom Hubschrauber in einem Sandgefäß übernommen, an einer Traverse hängend bis an die Einbringestelle gebracht und dort auf der Gewässersohle abgesetzt werden. Aus Gründen des Strahlenschutzes war ein Sandgefäß in einem eigens hierfür hergestellten Abschirmbehälter mit einem Lastkraftwagen von Frankfurt (M.) bis an die Küste zu transportieren. Im einzelnen wurden die mit der Entwicklung verbundenen Arbeiten in [5] beschrieben.

1.3.2 — Tauchsonde mit Strahlungsdetektor

Die Wanderung des mit Scandium-46 radioaktiv markierten Seesandes sollte vom Hubschrauber aus gemessen werden. Dabei schied die bisher angewendete Methode, den Strahlungsdetektor auf einen Schlitten einzubauen und diesen über die Gewässersohle zu ziehen, aus, weil ein Hubschrauber die verhältnismäßig großen Zugkräfte nicht übernehmen kann. Stattdessen wurde die Punktmessung mit einer Verweildauer von 0,5-1 Minute gewählt.

Das Radionuklid Scandium-46 zerfällt mit einer Halbwertszeit von 84 Tagen in das stabile Isotop Ti-46. Nach dem Zerfallsschema erfolgt der Zerfall mit einer Emissionswahrscheinlichkeit von 99,9 % durch Emission eines Betateilchens mit einer Energie von 0,36 MeV begleitet von zwei Gamma-Emissionen mit 1,12 bzw. 0,89 MeV. Praktisch kann also eine 100 %-ige Gamma-Emission für alle Berechnungen und Messungen angenommen werden.

In der Brandungszone erreichen die maximalen Wassertiefen etwa 6 bis 8 m.

Als Detektor für die Messung der γ -Strahlung wurde ein Szintillationszähler mit einem mit Thallium aktivierten Natriumjodid-Kristall NaJ(Tl) von 3" (76,4 mm) Dicke und 2,5" (64 mm) Durchmesser der Firma Friescke & Hoepfner GmbH., Erlangen, verwendet.

Der Szintillationszähler wurde einem Geiger-Müller-Zählrohr vorgezogen, da er eine große Absorptionswahrscheinlichkeit für γ -Quanten besitzt (bei 1 MeV etwa 40-50 %), ein hohes zeitliches Auflösungsvermögen (ca. 10^{-6} sec) hat und eine Proportionalität zwischen der Zahl der erzeugten Photonen und der Energie der einfallenden Quanten aufweist, so daß Energiespektren der ionisierenden Strahlung aufgenommen werden können.

Es war ursprünglich vorgesehen, einen serienmäßigen Szintillationszähler FH 488 mit Gamma-Meßkopf FH 488/Z2 zu verwenden. Um Gewicht zu sparen und netzunabhängig zu sein, ist von dem Einbau einer Präzisionshochspannungseinheit FH 505 für den Szintillationszähler abgesehen worden. Die Meßsonde wurde für die Aktivitätsmessung auf Batteriebetrieb umgestellt.

Ein koaxiales Kabel von etwa 15 m Länge diente als Anschluß vom Detektor bis zur Zählereinheit im Hubschrauber (Sondenkabel).

Für die Aufnahme und den Transport des Szintillationszählers vom Hubschrauber aus wurde die in Bild 2 und 3 dargestellte Tauchsonde konstruiert und gebaut.

Der Szintillationszähler mit den 40 Mikrodynzellen und einer 23 mm starken Bleiabschirmung um den Multiplier ist in einen 4 mm starken verzinkten Stahlzylinder mit aufgeflanschem Deckel wasserdicht und erschütterungsdämpfend eingebaut worden.

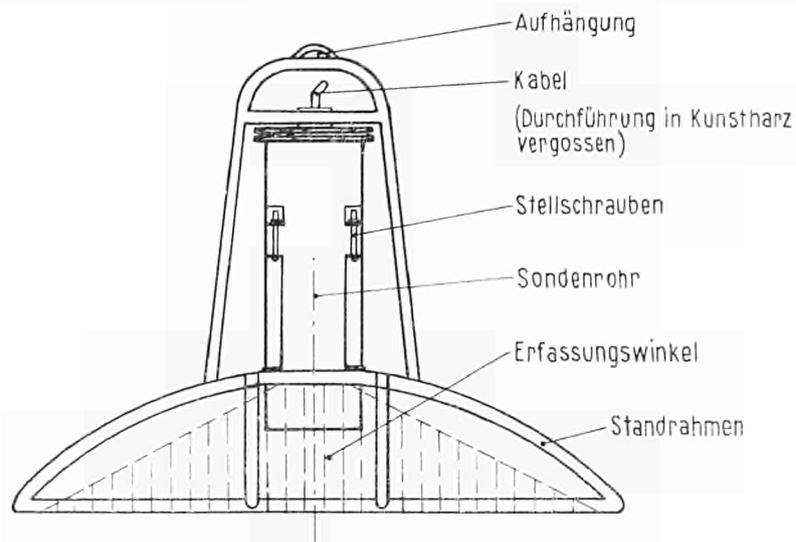


Bild 2 — Tauchsonde A mit Szintillationszähler

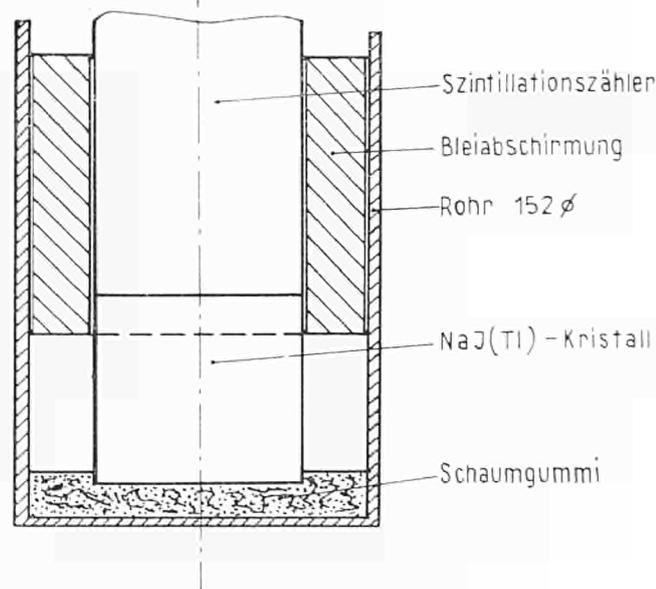


Bild 3 — Schnitt durch das Sondenrohr

Der Abstand vom Kristall des Szintillationszählers zur Gewässersohle, die Neigung der Sonde zur Bodenebene und damit der Erfassungskreis (Meßbereich des Sz.-Zählers) soll für jeden Meßpunkt gleich sein. Das Sondenrohr hängt in einem Rahmengestell aus $3/4''$ Stahlrohr. Dadurch wird das sichere und gleichmäßige Stehen des Gerätes auf dem Grund erreicht. Der Standrahmen hat einen Durchmesser von einem Meter und eine Höhe von 0,8 m.

Bei der Entwicklung der Tauchsonde mußte eine möglichst leichte Bauweise gewählt werden, um das begrenzte Zuladungsgewicht des Hubschraubers nicht zu überschreiten.

Nach mehreren Funktionsprüfungen und Änderungen wiegt die Tauchsonde einschließlich des Sondenkabels von 15 m Länge und des 20 m langen Nylouseiles (12 mm Durchmesser) insgesamt 52 kg.

Der Entwurf der Tauchsonde A entstand unter Mitwirkung fast aller Mitglieder des Arbeitsteams; für die Entwicklung des Sondenrohres mit Zähler ist in erster Linie die Firma Friezeke & Hoepfner, Verkaufsbüro Hannover (Ing. Suttor), zu nennen.

1.3.3 — Zähl- und Steuergeräte

Die ionisierende Strahlung (Gamma-Quant) wird in dem NaJ(Tl)-Kristall absorbiert. Die dabei entstehenden Photonen lösen an der Photokathode des Multipliers Elektronen aus, die als elektrische Impulse an der Anode gemessen werden können. Die Impulshöhe (Amplitude) ist der Energie der einfallenden Strahlung proportional; die Impulshäufigkeit gilt als Maß für die Intensität der Strahlung. Ein Zählgerät zeigt die zugeleiteten Impulse an.

Zur « Aussortierung » der Impulse bestimmter Höhen kann ein Diskriminator dem Zählgerät vorgeschaltet werden. Für das Arbeiten mit den 0,89 und 1,12 MeV-Linien des Scandium-46 erschien eine Einschränkung des Impulshöhenbereiches empfehlenswert.

Als erschwerend für die Auswahl geeigneter Meßkombinationen erwies sich die Anpassung der Geräte an die Platz- und Gewichtsverhältnisse des Hubschraubers « Bell G 2 ».

Wie auch bei der Präzisionshochspannungseinheit konnten die bereitgestellten und in ihrer Gesamtfunktion erprobten Geräte wie Impulshöhenanalysatoreinheit FH 507, Einschub zur automatischen Kanalverschiebung FH 525, Potentiometerschreiber FHK 1/542 und das Zählgerät FH 90 schließlich nicht benutzt werden.

Für den Einsatz wurden das Zählgerät FH 492 mit einer Steuereinheit 492 und einem vorgeschalteten Integraldiskriminator, d.h. einer unteren Schwelle zur Abschirmung von Gamma-Strahlung niedriger Energie (hier unter ca. 0,66 MeV), zusammengestellt.

Die Meßwerte werden im FH 49 auf sechs dekadischen Zählröhren (EIT) in Impulsen pro Minute angezeigt und bei der Messung am Einsatzort auf vorbereitete Meßbogen übertragen.

Der Steuerteil FH 492 gestattet Impuls- oder Zeitvorwahl von 100 bis $4 \cdot 10^6$ Impulsen oder 0,5 Minuten bis zu 3,5 Stunden. Somit konnten alle Funktionseinheiten, wie Detektor, Diskriminator, Zähl- und Steuereinheit von dem Meßplatz im Hubschrauber aus gesteuert werden.

1.3.4 — Spannungsversorgung

Wenn — wie anfangs vorgesehen — aus dem Bordstromnetz des Hubschraubers « Bell G 2 » mit 24 V Gleichspannung und einem Maximalstrom von 50 A über einen Umformer die Spannung für alle Gerätefunktionen hätte geliefert werden müssen, wäre bei der Verwendung der vorhandenen Großgeräte eine Anschlußleistung von 450 bis 500 Watt nötig gewesen. Nach der Umstellung der Meßsonde auf Batteriebetrieb konnten wesentlich kleinere Geräte benutzt werden, und es genügte eine Anschlußleistung von nur ca. 80 Watt. Der sehr leichte Transistor-Wechselrichter « Kaco Sk 100 » $24 \text{ V} = / 220 \text{ V} \sim$ mit 100 VA wurde an das Bordnetz des Hubschraubers angeschlossen.

Von der Bordspannung brauchten somit nur der Diskriminatoreinschub, die Steuer- und die Zähleinheit gespeist zu werden, nachdem durch die Verwendung von 40 Einheiten 30 V-Mikrodynbatterien für die Hochspannung des Multipliers des Szintillationszählers und eine 24 V Pufferbatterie für den Kathodenfolger (Kollektorstufe) AF 116 der Detektor netzunabhängig gebaut worden war. Die Anordnung der Meßgeräte (schematisch) zeigt Bild 4.

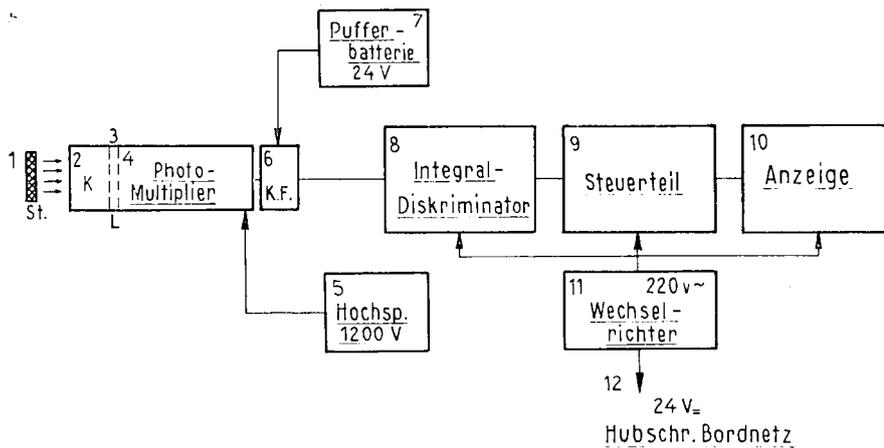


Bild 4 — Meßgeräteeinrichtung (schematisch)

- 1 radioaktiver Strahler (Gammastrahler)
- 2 NaJ(Tl)-Kristall (Gammameßkopf)
- 3 Lichtleiter und Photokathode
- 4 Multiplier (Photosekundärelektronenvervielfacher des Szintillationszählers)
- 5 Hochspannung für 4 (1,2 kV aus 40 Mikrodynzellen)
- 6 Kathodenfolger — hier Kollektorstufe
- 7 Pufferbatterie 24 V für Kollektorstufe
- 8 Integralsdiskriminator zur Erhöhung der Meßempfindlichkeit für Sc-46
- 9 Steuerteil FH 492
- 10 Zählleinheit FH 49
- 11 Wechselrichter « Kaco » 24 V = / 220 V ~
- 12 Spannungsquelle 24 V = Akku bzw. Bordnetz des Hubschraubers « Bell G2 »

1.4 — Funktionsprüfung und Eichung der Meßanordnung

1.4.1 — Funktionsprüfung

Vor dem Einsatz der Geräte für die Messung der Wanderung des radioaktiv markierten Sandes wurden Funktionsuntersuchungen vor allem mit der Meßsonde vorgenommen.

An der Kitzberger Anlegebrücke im Kieler Hafen ist die Funktion der Sonde mit dem Schreiber 12 Stunden lang in 4-5 m Wassertiefe überwacht worden. Das Ministerium für Arbeit, Soziales und Vertriebene des Landes Schleswig-Holstein stellte seinen Mercedes-Meß-Lkw hilfsbereit zur Verfügung.

Der Kontrollschrieb zeigte ein unter diesen Bedingungen einwandfreies und stabiles Arbeiten der Sonde. Die Aufnahme des Nulleffektes bei integrierender Messung wie auch unter Verwendung eines Impulshöhenanalysators und die Aufnahme eines Nullspektrums ergaben, daß ein Integralsdiskriminator zur Abschirmung vor allem der Strahlung niedriger Energien notwendig ist. Das Nullspektrum zeigte ein Maximum der Aktivitätsraten bei etwa 200 keV, das bei integrierender Messung der verhältnismäßig hohen Nullrate von bis zu 5000 Impulsen pro Minute entsprach.

Bei 25 V Fensterbreite des Einkanaldifferentialdiskriminators wurde eine Nullrate von 400 Imp/min unter Wasser auf dem Grunde und eine von 900 Imp/min über Wasser festgestellt. Zur Bestimmung der Fensterbreite des Einkanaldiskriminatoreinschubes wurde acht Stunden lang die 0,64 MeV-Linie eines Cs-Standards kontrolliert. Die Abweichung lag bei etwa 0,5 Volt. Bei gleicher Geräteeinrichtung hätte für die Messung des Scandium-46 eine Fensterbreite von etwa 25 V gewählt werden müssen. Eine Fensterbreite von 7 Volt war als Sicherheitsbetrag vorgesehen.

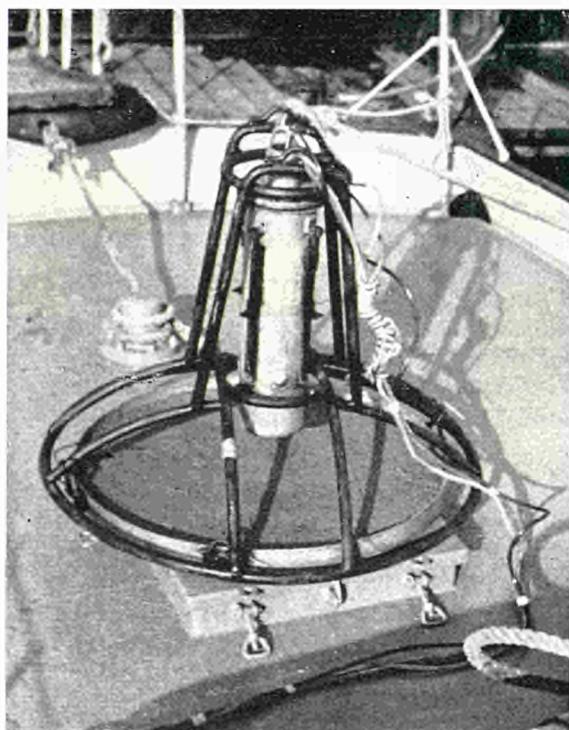
Wenn auch die Meßanordnung wegen der Gewichtsbeschränkung und der Schwierigkeiten mit der Spannungsversorgung für die eigentliche Messung nicht benutzt werden konnte, so

war auf diese Weise doch die Klärung einiger grundsätzlicher Fragen für die geplante Meßanordnung möglich, nämlich Nullspektrum des sandigen Ostseegrundes, Verwendung eines Schwellendiskriminators und Wasserdichtigkeit der Sonde.

1.4.2 — Eichung

Die Meßempfindlichkeit der Geräteanordnung wurde überschlägig durch Eichen bestimmt. Die Wasserschutzpolizei gestattete dies auf einem Dienstfahrzeug mit eigenem Bordnetz (220 V~) im Kieler Hafen.

Eine Aluminiumschale von 850 mm Durchmesser und 55 mm Kantenhöhe wurde unter das Sondengestell montiert und ein Eichstrahler (Sc-46 in Form von 2 ml ScCl_3 in HCl von 1,42 μc mit 35 kg Seesand, 3 kg Zement und 0,5 kg flüssigem Schnellbinder vermischt), in der Aluminiumschale gleichmäßig verteilt, so daß sich eine festhaftende Schicht von 2,6 cm — entsprechend 15 dm^3 — Eichpräparat ergab (Bild 5).



Fot. Böttcher

Bild 5 — Sonde mit Eichstrahler

Damit betrug die spezifische Aktivität des Eichstrahlers :

$$\text{spez. Aktivität } c = \frac{\text{Aktivität}}{\text{Volumen oder Gewicht bzw. Fläche}}$$

$$c = 3,65 \cdot 10^{-5} \mu\text{c/g}$$

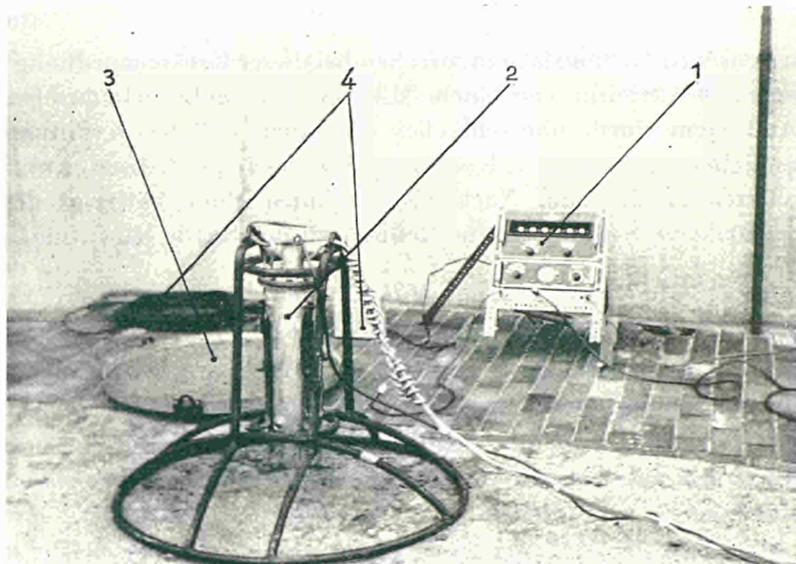
$$\text{oder entsprechend } c = 9,5 \cdot 10^{-5} \mu\text{c/cm}^3$$

Diese spezifische Aktivität entsprach der für den Einsatz geplanten aktiven Sandmenge von 100 kg mit 3 Curie Gesamtaktivität bei einem Verdünnungsfaktor von 10^5 . Der konstante Geometriefaktor einer Meßanordnung ist bei Untersuchungen dieser Art Voraussetzung für eine Vergleichbarkeit aller Meßergebnisse untereinander. Die breite Rahmenkonstruktion des Sondengestells leistete bei jedem Meßvorgang Gewähr für das Einhalten eines festen Streuwinkels, d.h. für eine konstante Höhe und Neigung des Szintillations-Kristalls über dem Grund.

Die geometrische Anordnung des Detektors zur Strahleroberfläche ist zur Erreichung einer maximalen Meßempfindlichkeit von großer Bedeutung.

Die Halbwertsdicke von Wasser beträgt für Gammastrahlung mit einer Quantenergie von 1 MeV 9,8 cm, für Sc-46 mit 1,12 bzw. 0,89 MeV zu je 100 % kann sie also mit rund 10 cm angegeben werden. Bei kleinerem Abstand des Strahlers vom Detektor ist der Erfassungswinkel des Kristalls entsprechend kleiner.

Unter Berücksichtigung dieser, die Meßempfindlichkeit der Anordnung beeinflussenden Faktoren ergab sich als günstiger Abstand des Kristalls vom Grunde ein Wert von 140 mm.



Fot. Böttcher

Bild 6 — Eichgeräte

- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1 Zähl-, Steuer- und Diskriminatoreinschub | 3 Eichteller mit Eichstrahler Sc-46 |
| 2 kompl. Meßsonde | 4 Kaco Wechselrichter und Netzkabel |

Zur Durchführung der Eichungen wurde die Schwelle des Integralkontrollators mit einem Cs-137-Standard eingestellt. Die Schwelle lag bei 0,66 MeV, so wie sie für alle weiteren Messungen vorgesehen ist.

Messungen oberhalb der Wasseroberfläche (Steinfußboden) ergaben einen Nulleffekt von $N_0 = 880$ Imp/min und eine Zählrate für den Strahler von $Z_R = 3800$ Imp/min.

Eichmessungen mit der Sonde in 5,5 m Wassertiefe am Boden (unreiner Grund mit Sand, Muscheln und Schlick) brachten Mittelwerte $N_0 = 230$ Imp/min und $Z_R = 1240$ Imp/min, die Vergleichsmessungen in 3 m Wassertiefe (2,5 m über dem Grund) $N_0 = 100$ Imp/min und $Z_R = 1140$ Imp/min.

Aus mehreren Meßergebnissen konnte somit ein Mittelwert der Nutzpulsrate (Aktivitätsrate) von 2920 Imp/min und ein solcher von 1000 Imp/min im Wasser ermittelt werden.

Die Eichkonstanten K ergeben sich aus der Beziehung

$$K = \frac{A_R}{c}, \text{ worin}$$

$$A_R = \text{Zahl der Nutzpulse}$$

$$c = \text{spez. Aktiv. in } \frac{\mu\text{c}}{\text{g}} \text{ bzw. } \frac{\mu\text{c}}{\text{cm}^3}$$

Mit den gefundenen Werten sind also annähernd :

$$K_g = 2,74 \cdot 10^7 \left(\frac{\text{Imp. g}}{\mu\text{c. min}} \right)$$

$$K_{\text{cm}^3} = 1,05 \cdot 10^7 \left(\frac{\text{Imp. cm}^3}{\mu\text{c. min}} \right)$$

und für eine etwa 3 cm gleichmäßige Schichtdicke des aktivierten Sandes

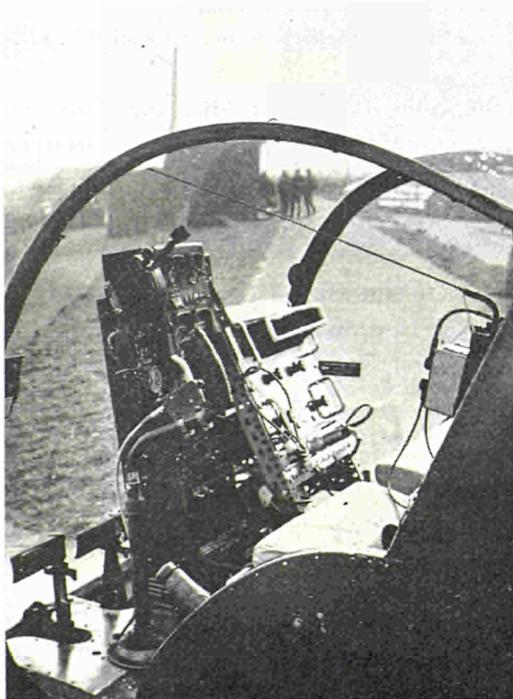
$$K = 1240 \left(\frac{\text{Imp. m}^2}{\mu\text{c. min}} \right)$$

Für den praktischen Meßbetrieb entsprechen bei dieser Geräteanordnung 1240 gemessene Nutzpulse etwa einer Aktivität von einem Mikrocurie Scandium-46 pro Quadratmeter der Gewässersohle. Außerdem wurde überschlägig errechnet, daß bei Kenntnis der Werte des Nulleffektes, der Eichkonstanten, der Korngröße und der spezifischen Aktivität des einzubringenden aktivierten Sandes zum Nachweis der künstlichen Aktivität des Meeresbodens mindestens 300 radioaktive Sandkörner im Meßbereich der Sonde liegen müssen.

1.4.3 — Erprobung der Meßanordnung mit Hubschrauber

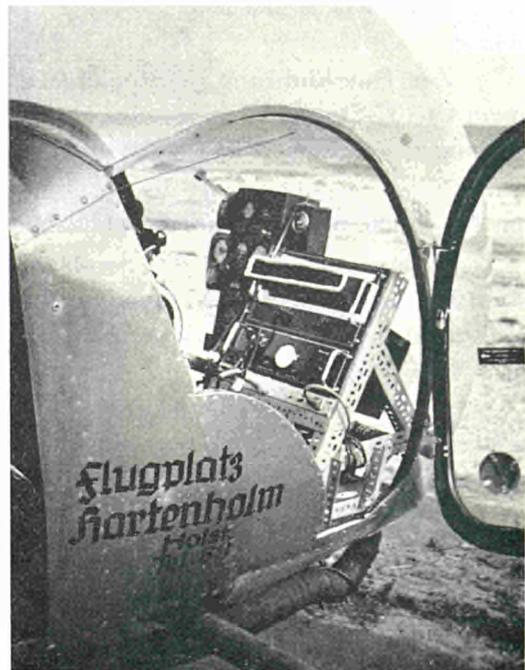
Die Montage der Gerätekombination (bestehend aus Zählinheit, Steuerteil, Wechselrichter « Kaco », Schwellendiskriminator und Pufferbatterie) in die Kanzel des Hubschraubers war größtmäßig ohne wesentliche Änderung der Hubschraubereinrichtungen möglich. Wie aus Bild 7 und 8 ersichtlich, sind die Bedienungsgeräte vor den Nebensitzen montiert; das Funksprechgerät für den Piloten und den Meßingenieur steht zwischen den beiden Sitzen. Alle Teile sind also bequem zu bedienen.

Das Gesamtgewicht der Meßanordnung ergibt sich aus dem Gewicht der Bedienungsgeräte von 24 kg und dem Sondengewicht von 52 kg zu insgesamt 76 kg. Somit kann das



Fot. Böttcher

Bild 7 — Anordnung der Strahlungsmeßgeräte



Fot. Böttcher

Bild 8 — Anordnung der Strahlungsmeßgeräte

Zuladungsgewicht für den Hubschrauber mit weiteren 20 kg für das Funksprechgerät und etwa 75 kg für den Meßingenieur (zusammen etwa 170 kg) unter den zulässigen Grenzwerten (190 bis 200 kg) gehalten werden.

Die Meßsonde wird an einem Seil unter dem Hubschrauber an der Ausklinkvorrichtung befestigt. Das Sondenkabel ist mit einer bei Zug (z.B. Notabwurf) sich lösenden Steckverbindung versehen. Die Meßsonde kann somit leicht vom Piloten ausgeklinkt und abgeworfen werden. Diese Anordnung der Strahlungsmeßgeräte wurde mit folgendem Ergebnis erprobt :

Nach dem Einstellen der Diskriminatorschwelle mit einem Cs-137-Standard (Schwelle bei ca. 0,66 MeV) lag der Nulleffekt bei auf dem Boden stehender Sonde um 800 Impulse pro Minute.

Während der Nulleffektmessung und Eichung der Meßanordnung bei laufendem Motor und bei Nulleffektmessung im Fluge ergaben sich keine Einstreustörungen durch Funken, Schalten u. ä.

Die gesamte Apparatur arbeitete gleichmäßig und sicher wie bei den Eichungen und Messungen auf dem Boden und im Labor.

1.5 — Ortung

Für die Einmessung der Sonde an den einzelnen Meßpunkten gab es zwei Möglichkeiten : das Vorwärtseinschneiden mittels 2 Kinotheodoliten, wobei die Auslösung derselben zur Zeit der Messung von einer Zentrale aus oder vom Hubschrauber mittels Funk erfolgen kann und

durch « Vorwärtseinschneiden » über Basen von etwa 600 m Länge mit zwei einfachen Theodoliten und Verständigung über Funk.

Der Einsatz von Kinotheodoliten erfordert einen großen Feldaufwand und anschließend eine umständliche und zeitraubende Auswertung für jeden einzelnen Meßpunkt. Der Einsatz dieser Geräte ist auch stets an gute Zufahrtswege gebunden. Im Hinblick auf das zum Teil schwer zugängliche Düngengelände für die Basisstationen und auf den Zeitaufwand wurde auf den Einsatz der Kinotheodolite verzichtet. Die Ortungen wurden nach dem zweiten Verfahren durchgeführt.

Aus Sicherheitsgründen wurde während der Flugeinsätze (Nulleffektmessungen, Einbringen des radioaktiven Sandes und Aktivitätsmessungen) ein Motorboot zur Verfügung gestellt, weil der Hubschrauber mit Kufen ausgerüstet war. Die Besatzung (2 Mann) des Fischerbootes mit geringem Tiefgang übernahm den Rettungsschutz.

Die Verständigung der drei Stationen untereinander erfolgte über Funksprechgeräte (« FuG 8 ») der Firma Standard-Electric-Lorenz. Dem Piloten und dem Meßingenieur im Hubschrauber standen je ein Kehlkopfmikrofon und ein Hörer für ein Sprechgerät zur Verfügung.

Im Funksprechverkehr erhielten die Stationen die Bezeichnungen « Zentrale » und « Kurs » für die Meßbasen, sowie « Hubi » für den Hubschrauber. Eine Verständigung zwischen den beiden Personen im Hubschrauber war wegen des hohen Geräuschpegels nur durch Zeichnen oder indirekt über die Station « Zentrale » möglich.

Der Hubschrauber flog alle Meßpunkte selbständig an, die Reihenfolge der Messungen war hauptsächlich von der Windrichtung und der Sicht abhängig. Die notwendigen Flughöhenangaben und die Eintauchtiefe der Sonde erhielt « Hubi » von der « Zentrale » über Funk.

Die abgelesenen Aktivitätsraten wurden vom Meßingenieur im Hubschrauber an die « Zentrale » durchgegeben und an beiden Stellen aufgeschrieben. Nach Durchführung des jeweiligen Meßprogrammes wurden alle Meßwerte (Zählraten, Wassertiefe und die Winkel von beiden Basen, sowie die Zeit der einzelnen Messungen) in speziell dafür ausgearbeitete

Tabellen (vergl. Tab. I) eingetragen. Im Anschluß daran wurden die Meßpunkte auf den entsprechenden Küstenplänen im Maßstab 1 : 2000 kartiert.

TABELLE I

Profil : 6		Km 14,0				Datum : 21. März 1962				Schönberger Strand, Ostsee				
						Beobachter : Dahms-Holst				Aktivitäts-Messung				
Meßpunkt						Standpunkt : 75		Zielpunkt : I _M		Standpunkt : I _M		Zielpunkt : I _L		
	Nr.	N _R	Z _R	A _R	Zeit	Bem.	Winkel g	Zeit	Tiefe m	Bem.	Winkel g	Zeit m	Tiefe	Bem.
1		290			17 ³²		393.5910	17 ³²	0,80		96.9000	17 ³²	0,80	
2		2.592			17 ³⁴		388.7050	17 ³⁴	2,30		94.4000	17 ³⁴	2,30	
3		20.317			17 ³⁵		386.2780	17 ³⁵	1,60		96.3000	17 ³⁵	1,60	
4		4.229			17 ³⁷		385.4600	17 ³⁷	1,60	Sonde umgef.	98.4000	17 ³⁷	1,60	Sonde umgef.
5		24.320			17 ³⁹		385.2360	17 ³⁹	1,60		97.5000	17 ³⁹	1,60	
6		368			17 ⁴¹		380.7960	17 ⁴¹	2,00		95.2000	17 ⁴¹	2,00	
7		312			17 ⁴²		376.6240	17 ⁴²	2,50		97.7000	17 ⁴²	2,50	
8		300			17 ⁴⁴		393.3530	17 ⁴⁴	0,60		26.1000	17 ⁴⁴	0,60	
9		756			17 ⁴⁵		389.4150	17 ⁴⁵	1,20		54.9000	17 ⁴⁵	1,20	
10		7.592			17 ⁴⁷		383.7730	17 ⁴⁷	1,60		70.5000	17 ⁴⁷	1,60	
11		2.370			17 ⁴⁸		381.9790	17 ⁴⁸	1,80		76.2000	17 ⁴⁸	1,80	

Wetter :

Windstärke : 2-3 m/sec

Windrichtung : NE

Brandung : 0-1

Das Boot wurde auch für das Auslegen und Einholen der Bojen verwendet. Ursprünglich sollten zur Orientierung für den Piloten außer den Landsignalen in jedem Meßprofil zwei Bojen im Abstand von 200 und 400 m von der Uferlinie ausgelegt werden. Die Meßsonde sollte in jedem Meßpunkt bis zwei Minuten auf dem Meeresboden aufsitzen, deshalb mußte der Hubschrauber mindestens zwei Minuten lang ruhig in der Luft stehen. Ohne einen Fixpunkt in unmittelbarer Nähe des Meßpunktes auf dem Wasser war eine Orientierung für den Piloten und damit das Stehen des Hubschraubers über dem bewegten Meer nicht möglich.

Im Verlauf der Messungen wurde stufenweise das Trageil mit Kabel von 6 m auf 10 m verlängert. Dabei wurde der Gefahr Rechnung getragen, die entsteht, wenn die Sonde zu

stark pendelt und die Stabilität sowie die Flugsicherheit des Hubschraubers beeinträchtigt wird. An das Trage-seil konnte nun eine weiße Boje aus Schaumgummi ca. 4 m unter dem Hubschrauber angebracht und als « eigener Fixpunkt » jederzeit mitgeführt werden. Vor der Durchführung der Messungen wurden durch das Boot 3 bis 4 Bojen in jedem Profil bei 50, 100, 200 und 400 m Entfernung von der Uferlinie ausgelegt. Das Boot führte beim Bojenauslegen das Funksprechgerät « Kurs » mit sich und fuhr in Deckpeilung auf den Strand zu. Es wurde von der Landstation « Zentrale » jeweils anhand der voraus berechneten Winkel angewiesen, die farbigen Bojen (Gummibälle in einem Netz) auszuwerfen.

Die Wassertiefe der Meßpunkte wurde am Trageseil der Meßsonde abgelesen. Zu diesem Zweck hatte das Seil verschiedenfarbige Plastikbänder in Intervallen von einem Meter erhalten. Die Beobachter am Theodolit vermerkten die Farbe des oberhalb des Wasserspiegels sichtbaren Bandes im Moment der Winkelmessung. Bei ungünstiger Beleuchtung war es nicht möglich, die Farbe eindeutig zu erkennen und die Tiefe der Sonde unter dem Meeresspiegel anzugeben. Es wurden daher im Abstand von jeweils zwei Metern kleine, verschiedenfarbige Gummibälle am Trageseil mittels Nylonnetzen befestigt. Somit war vom Nullpunkt (unterer Rand des Sondenrohres) an eine klare, gut sichtbare Einteilung des Trageseiles vorhanden. Beim Aufsetzen der Sonde auf dem Meereshoden hängt das Trageseil schlaff; in diesem Augenblick kann die Tiefe auf 20 cm genau angegeben werden. Auch diese Erfahrungen konnten erst im Laufe der Messungen gesammelt werden.

Der sich über ca. 12 km erstreckende Küstenstreifen an der Ostseeküste im Abschnitt Stakendorfer-Strand (Schenkeldeich) bis Barsbeker-Schleuse wurde in Querprofile eingeteilt, von denen 5 für die Nulleffektmessungen und beliebig viele für die Messung der künstlichen Radioaktivität vorgesehen waren.

Die Basen für die Nulleffektmessungen wurden an der Einbringestelle E und westlich davon im Abstand von ca. 2, 4, 7, und 10 km angelegt. Da die Profile eine Ausdehnung von 400 m — gemessen ab Uferlinie — haben sollten, wurde die Basislänge mit 600 m ermittelt. Im Bereich von 250 m bis 300 m vom Ufer schneiden sich die Ziellinien der Theodoliten unter günstigen Winkeln. Die Basisendpunkte wurden durch Pfähle vermarktet und waren untereinander frei sichtbar. Auch die Lotpunkte der Profile wurden in der Basis festgelegt, so daß die Messungen von der Einbringestelle aus nach dem Westen sowie auch nach dem Osten rasch ausgedehnt werden konnten.

Der Hubschrauber sollte sich ursprünglich selbst in die Profilrichtung einfliegen. Dazu mußte jedes Profil derart signalisiert werden, daß auf ca. 10 m Flughöhe die Signale möglichst hintereinander sichtbar sind. Es wurde daher ein landwärts stehendes Signal am Boden oder in Bodennähe angebracht. Das seawärts stehende Signal bestand aus einer ca. 4,5 m langen Stange mit einem Signaldreieck am oberen Ende. Die Dreiecke sowie die Signalstangen bekamen einen leuchtenden Anstrich in chromgelber Farbe.

Die Basen wurden auf das Küstenpoligon der Küstenvermessung vom Jahre 1954 aufgemessen und die Stationspunkte sowie Profifußpunkte in die entsprechenden Küstenpläne 1 : 2000 sowie in die Tiefenpläne 1 : 5000 eingetragen.

Küstenpläne :

- Nr. 4 Barsbeker-Schleuse
- Nr. 5 Kollberger Heide
- Nr. 6 Kalifornien
- Nr. 7 Brasilien
- Nr. 8 Schönberger Strand
- Nr. 9 Stakendorf
- Nr. 10 Schmoel

Tiefenpläne :

- Nr. 2 Barsbeker-Schleuse
- Nr. 3 Kalifornien
- Nr. 4 Stakendorf
- Nr. 5 Hohenfelde

Im Gelände wurden folgende Profile erkundet und festgelegt (Bild 9) :

- 1) Ca. 300 m östlich des Schenkeldeiches : Die 600 m lange Basis lag auf der Deichkrone. Als Tiefsignal wurde etwa 180 m landeinwärts ein Dreieck an einem Weidezaun befestigt. Das Hochsignal wurde an der vorderen Deichkronenkante errichtet. Landemöglichkeit für den Hubschrauber bestand auf der Weide unmittelbar hinter dem Deich.
- 2) Ca. 130 m östlich der Auffahrtsrampe zum Deich am Stakendorfer Strand : Die Basis verlief über dem Strand vor den Fischerhütten und schnitt als Sehne den Deichbogen ab. Ein Betonmast an der Landseite des Deiches bildete das Hochsignal, während an der nach Süden verlaufenden Straße in der Nähe von 3 Weidenbäumen ein Bodendreieck aufgebaut wurde. Landemöglichkeit für den Hubschrauber war am Strand vorhanden.
- 3) Zwischen zwei Bühnen 1,5 km westlich Schönberger Strand : Die Basis schnitt ebenfalls als Sehne den Deichbogen ab. Der Turm der Kirche von Schönberg wurde als Lot auf die Basis eingemessen und diente als Fernziel. Das Bodensignal wurde ca. 100 m landeinwärts an einem Weidezaun und ein Hochsignal auf dem Deich errichtet. Ein Hubschrauberlandeplatz war westlich des hier vom Deich abzweigenden Feldweges vorgesehen.
- 4) Ca. 1,3 km westlich Kalifornien vor einem dichten Nadelhochwald : An einem Betonmast vor dem Wald wurde das Tiefsignal aufgestellt. Das Hochsignal mußte an die vorderste Dünenkante gestellt werden, um noch einen ausreichenden Abstand zwischen beiden Signalen zu erhalten. Landung war auf der Düne möglich.
- 5) Ca. 400 m östlich der Barsbeker Schleuse am Ostrand des Kiefernbestandes : Als Bodensignal bot sich hier ein Holzmast ca. 100 m landeinwärts an. Das Hochsignal mußte am Strand vor dem Deich errichtet werden. Landemöglichkeit war auf dem Strand gegeben.

Über die Ortung kann zusammenfassend gesagt werden, daß sie sich mit vorbereiteten Basen von 600 m Länge und einfachen Feldtheodoliten bewährt hat. Nach Beendigung der Tagesmessung können die Meßpunkte der Lage nach sofort in die vorbereiteten Küsten — bzw. Tiefenpläne auf graphischem Wege mittels Winkeltransporteur eingetragen werden.

Auf Grund des danach vorhandenen Schaubildes der geflogenen Meßpunkte kann das weitere Meßprogramm bezüglich der Verdichtung oder notwendigen weiteren Ausdehnung der Meßpunktlage aufgestellt werden.

Alle Punkte konnten unter günstigen Schnittwinkeln eingemessen werden ; es wurde eine gute Lagegenauigkeit erreicht.

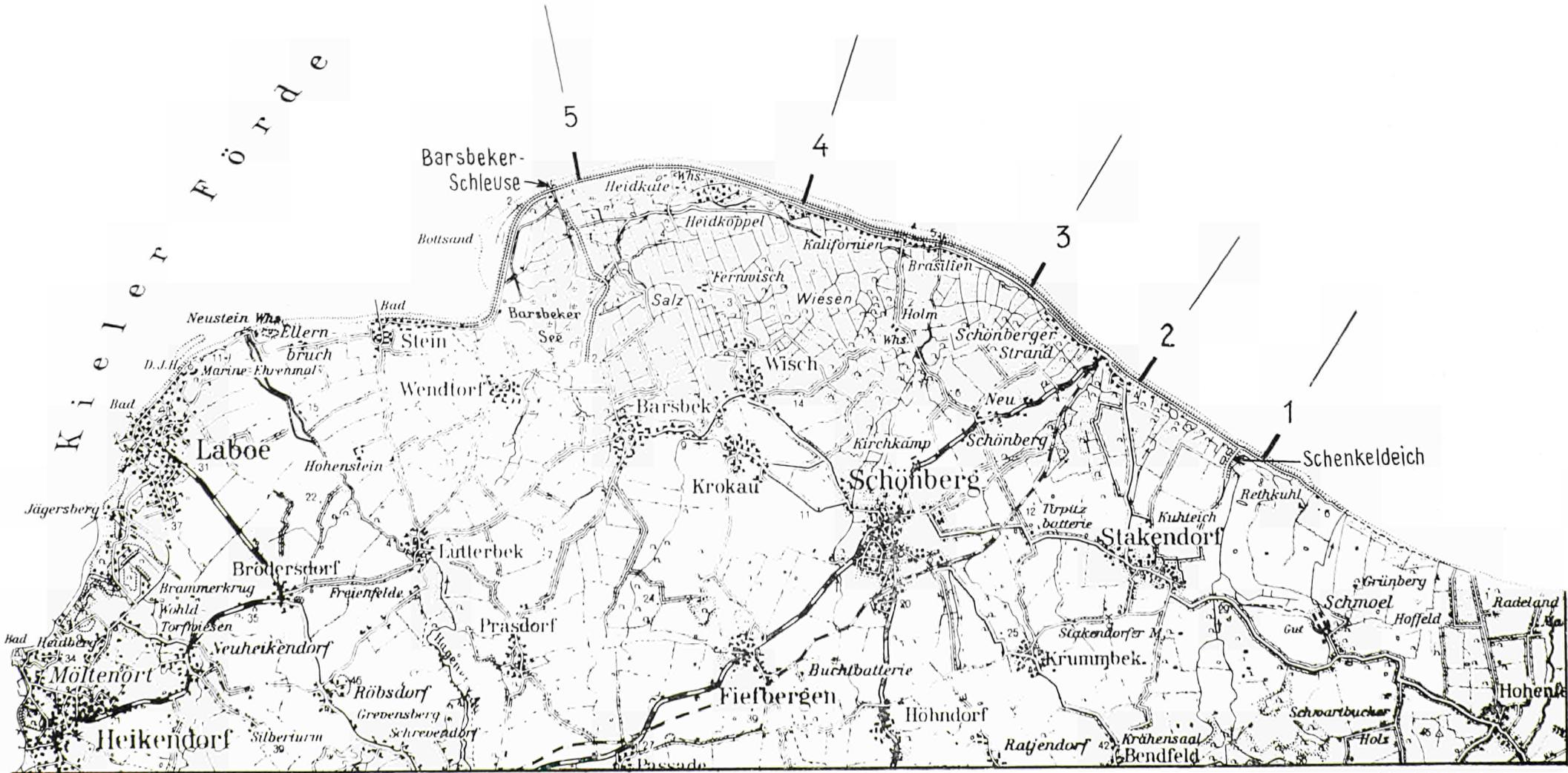
Alle Meßprotokolle einschließlich der vom Meß-Ingenieur im Hubschrauber gemachten Aufschreibungen zeigten vollkommene Übereinstimmung in der Numerierung der Meßpunkte und der abgestimmten und über Funk mehrmals kontrollierten Uhrzeiten der einzelnen Messungen.

Für den etwaigen Ausfall der Funkgeräte waren optische Signale vereinbart, die anfangs mehrmals angewendet werden mußten.

Nachdem Tragseil und Sondenkabel bis auf 15 m verlängert werden konnten, ohne daß dadurch die anfangs befürchtete Stabilität des Hubschraubers gefährdet wurde, ist ein großer Vorteil für die Untersuchungsmethode erreicht worden. Der notwendige « Fixierpunkt » für den Hubschrauber kann nun von ihm selbst mitgeführt werden. Das Auslegen und Einholen der Hilfsbojen entfällt in Zukunft.

Die Sicherheit für den Hubschrauber und für dessen Besatzung ist zu verbessern, wenn die Kufen durch Schwimmer ersetzt werden. Auf das Boot kann dann verzichtet werden.

Lage der Profile für Nulleffektmessungen



M. 1:75 000

Bild 9

1.6 — Lieferungsaufträge und Dienstleistungsverträge

Zu den Vorbereitungen gehörten eine Anzahl von Lieferungsaufträgen :

Der Seesand war auf dem Riff zu entnehmen, in Säcke zu füllen und an die Markierungsfirma nach Frankfurt (M) sowie an das Geologische Institut der Universität Kiel (je 2,5-3 Zentner) zu schicken.

Die Lieferung von 100 kg radioaktiv markierten Seesandes (2-3 C) erforderte einen Zeitaufwand von etwa drei Monaten. Der Termin für den Beginn der Messungen mußte also entsprechend frühzeitig angesetzt werden.

In diesem Auftrag war die Herstellung des Abschirmbehälters und des Sandgefäßes für den Transport des radioaktiv markierten Sandes eingeschlossen.

Für den Transport des Sandgefäßes von Land bis auf das Riff wurde die Konstruktion und Anfertigung einer Traverse erforderlich.

Ein vollständiger Meßplatz mit Sonde, Kabel, Zählgerät, Steuerteil, Wechselrichter « Kaco », Schwellendiskriminator und Pufferbatterie und ein speziell entworfenes Sondenstell mußten erworben werden.

Von einer Beschaffung von Funkgeräten wurde abgesehen, weil sie günstig angemietet werden konnten.

Ein umfangreicher Dienstleistungsvertrag wurde mit dem Vermessungsbüro N. Rüpke in Hamburg-Wandsbek geschlossen. Dieses charterte den Hubschrauber Bell G2 von dem Flugplatz Lüth, Hartenholm/Holstein. Das Vermessungsbüro stellte dazu den Piloten, den Bordmechaniker, einen Vermessungsingenieur, einen Werkzeugwagen und einen geländegängigen PKW.

Für die Meßtage war ein geeignetes Boot mit Besatzung anzumieten.

1.7 — Genehmigungsanträge

Nach dem Atomgesetz und der Ersten Strahlenschutzverordnung mußte die Genehmigung zum Umgang mit radioaktiven Stoffen von der Genehmigungsbehörde (Minister für Arbeit und Soziales des Landes Schleswig-Holstein) eingeholt werden. Unabhängig hiervon brauchte die Markierungsfirma in Frankfurt (M) eine entsprechende Genehmigung von der für das Land Hessen zuständigen Behörde.

Der Abschirmbehälter und das Sandgefäß mußten vom Bundesamt für Materialprüfung nach den Bestimmungen für B-Verpackungen geprüft und genehmigt werden.

Über die Oberpostdirektion Kiel wurde unter Einschaltung des Fernmeldetechnischen Zentralamtes in Darmstadt und des Bundesministeriums des Innern in Bonn die Frequenz für den Funksprechverkehr zugeteilt.

Um die mit dem Flugbetrieb verbundenen Genehmigungen bemühte sich das Vermessungsbüro Rüpke : die Außenlandegenehmigung erteilte der Minister für Wirtschaft und Verkehr des Landes Schleswig-Holstein, die Mitbenutzung des Flugplatzes Kiel-Holtenau wurde von der Flugplatzverwaltung gestattet.

2 — DURCHFÜHRUNG DER MESSUNGEN

2.1 — Organisation

Nach Abstimmung der einzelnen Maßnahmen aufeinander und nachdem der für Vorbereitungen noch erforderliche Zeitaufwand übersehen werden konnte, wurde als Termin für das Einbringen des radioaktiv markierten Sandes der 7. März 1962 bestimmt.

Mit dem Messen der natürlichen Radioaktivität (Nulleffekt) mußte einige Tage vorher begonnen werden.

Der markierte Sand wurde planmäßig auf einem Lastkraftwagen angeliefert.

Die Strahlung in der Umgebung des Abschirmbehälters wurde von der Aufsichtsbehörde (Gewerbeaufsichtsamt Kiel) kontrolliert.

Der bei den Übungsflügen eingesetzte Pilot stand an diesem Tage nicht zur Verfügung. Deshalb wurde sein Vertreter zunächst durch drei Flüge mit dem Probesandgefäß in die Aufgaben, die von ihm beim Einhängen der Tragseile und des Zugseiles, beim Anheben des Sandgefäßes, beim Fliegen mit dieser Last an zwei Tragseilen, beim Öffnen, Entleeren, Spülen und Absetzen des Sandgefäßes zu erledigen waren, eingewiesen. Ein kleiner Fehler an der Traverse konnte dabei schnell erkannt und abgestellt werden.

Für eine Vergleichsmessung wurden vom Boot aus an der bezeichneten Stelle 100 kg Luminoforensand eingebracht.

Der mit Scandium-46 radioaktiv markierte Seesand — ebenfalls 100 kg — wurde in der Nähe der Markierungsboje bei etwa 2 m Wassertiefe ausgeschüttet. Das Sandgefäß öffnete sich eben unterhalb des Wasserspiegels. Ein Teil des Sandes fiel erst heraus, als das Sandgefäß aus dem Wasser gehoben wurde. Eine rosa-farbene Staubwolke wurde sofort von dem Rotorwind des Hubschraubers auf die Wasseroberfläche niedergedrückt.

Das Wetter war klar und sonnig, der Wind war ablandig, er kam aus Südwest mit Windstärken um 1 bis 2 Beaufort.

Eine Berechnung der Aktivitätsverteilung ergibt folgendes Bild :

Die durchschnittliche Sandkorngröße beträgt an der Einbringestelle 200 μ , die Gesamtaktivität der eingebrachten Strahlermenge 3 Curie. Bei der Annahme, daß jedes Sandkorn einen Durchmesser von 200 μ besitze, enthalten die 100 kg des eingebrachten Sandes

mit je 10^{10} Körner
 10^{-5} g Gewicht

und einer Aktivität von $3,5 \cdot 10^{-4}$ μ c (Mikrocurie).

Die mit dem Eichstrahler durchgeführten Eichmessungen für die verwendete Geräteanordnung ergaben eine Eichkonstante

$$K = \frac{1240 \text{ (Imp. m}^2\text{)}}{(\mu \cdot \text{min})}$$

Für die Wassertiefen von 0,8 bis 4 m betrug der Nulleffekt mit diesen Meßgeräten 190 Imp/min. Ein absolut sicherer Nachweis von künstlicher Aktivität liegt vor, wenn die Zählrate um mindestens 50 % über dem Nulleffekt liegt. Die Nutzrate müßte also minimal 100 Imp/min betragen.

Für diese vorhandene Meßgeometrie entspräche das etwa
300 Körnern

bzw. $3 \cdot 10^{-3}$ g aktiven Materials im Meßbereich der Sonde. Die Verdünnung der eingebrachten 100 kg radioaktiv markierten Sandes dürfte damit maximal $3,3 \cdot 10^7$ betragen. Bei einer Erfassungsfläche der Sonde von 0,8 m² entspräche das einer gleichmäßigen Sandverteilung auf

$$2,6 \cdot 10^7 \text{ m}^2 = 26 \text{ km}^2$$

2.2 — Messen der natürlichen Radioaktivität (Nulleffektmessung)

Vor dem Einbringen des radioaktiv markierten Sandes wurde im gesamten Meßgebiet der natürliche Strahlungspegel, d.h. die natürliche Radioaktivität des Seesandes und die Einwirkung der Höhenstrahlung in verschiedenen Wassertiefen untersucht.

In fünf Profilen im Abstände von je 2000 m wurden bis zu einer Strandentfernung von 400 m durchschnittlich 10 Aktivitätswerte pro Profil aufgenommen. Insgesamt sind im Untersuchungsgebiet 96 Nulleffekt-Werte gemessen worden.

Für die Ermittlung der Nullraten wurde der gleiche Eichwert wie für die vorherigen und späteren Messungen verwendet. Die integrale Schwelle des Impulshöhenanalysators wurde mit einem Cs-137 Standard auf 0,66 MeV gelegt. Die Meßzeit betrug jeweils zwei Minuten für den Meßpunkt.

Für den Nulleffekt in 0,8 bis 4 m Wassertiefe ergab sich arithmetisch und graphisch ein Mittelwert von etwa 190 Imp/min (Bild 10). Von 0,8 bis 0 m Wassertiefe ist der Nulleffekt stark von der Größe der abschirmenden Wasserschicht abhängig. (Halbwertsdicke von Wasser für 1 MeV rund 10 cm.) Bei mehr als 0,7 m Wasserabschirmung kann mit reiner Bodenstrahlung gerechnet werden, da die Beeinflussung der Werte aus der Höhenstrahlung (Nulleffekt über dem Wasser mit 200-220 Imp/min eingemessen) bei dieser Tiefe schon auf den 2^{-7} fachen ($1/128$) Teil des obigen Wertes geschwächt werden.

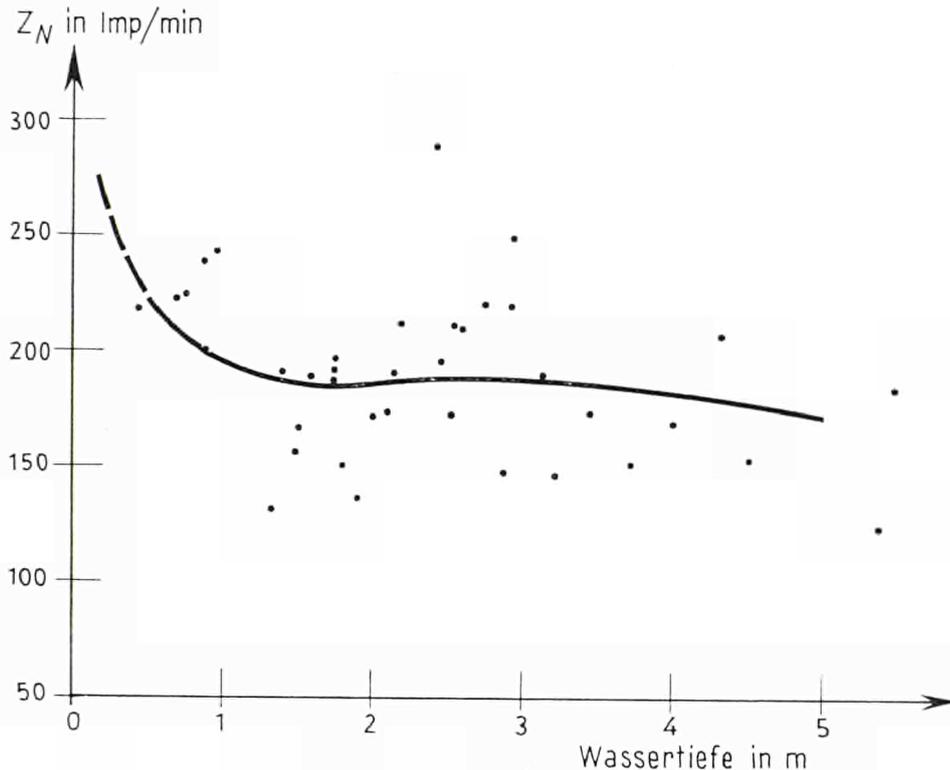


Bild 10 — Nulleffektmessung
Nullrate Z_N in Abhängigkeit von der Wassertiefe

Nullraten graphisch und rechn. ermittelt :

Z_N Strand	450 Imp/min	Z_N 0,8-4 m	180 Imp/min
Z_N 0,5-0,8 m	220 Imp/min	Z_N 4 -6 m	170 Imp/min

Für Meßpunkte in 0,5 bis 0,8 m Tiefe ergab sich eine Nullrate Z_N von durchschnittlich 220 Imp/min, ab 4 m Wassertiefe von 170 Imp/min. Das Diagramm « Nulleffekt-Wassertiefe » zeigt für den Boden zwischen Strand und dem ersten Riff, wie auch für den zwischen dem ersten und zweiten Riff bei Tiefen von etwa 1,8 bis 3 m einen um etwa 10 % erhöhten Nulleffekt (Bild 10).

Auf dem trockenen Strande oberhalb der Uferlinie (Mittelwasserlinie) ergab sich aus mehreren Messungen ein Nulleffekt von durchschnittlich 450 Impulsen pro Minute, er war damit radioaktiv sauberer als der normale Sandboden hinter dem Deich bei der Eichung des Schwellendiskriminators mit durchschnittlich 810 Impulsen pro Minute.

2.3 — Messen der künstlichen Radioaktivität (Aktivitätsmessung)

Mit den Aktivitätsmessungen wurde gleich am Tage des Einbringens begonnen. — Beim dritten Meßpunkt fiel die Stromversorgung für die Strahlungsmeßgeräte im Hubschrauber aus, weil ein Leistungstransistor AD 105 S u. H im Kaco-Wechselrichter infolge kurzzeitiger Überspannung im Bordnetz zerstört worden war. Der Schaden konnte erst am nächsten Tag behoben werden, als die Ersatzteile aus Hamburg eintrafen. — Die drei Meßwerte in der Nähe der Einbringestelle E zeigten keine künstlichen Aktivitäten.

Am 2. *Meßtag* (8. März) konnten die Messungen nach der Reparatur des Wechselrichters und nach der Überprüfung und erneuten Eichung der gesamten Strahlungsmeßanordnung mit fünfzehn Meßpunkten in der näheren Umgebung der Markierungsboje fortgesetzt werden. Davon wiesen sieben Punkte in südwest-nordöstlicher Richtung Nutzraten (Aktivitätsraten) von über 100 Imp/min auf, die bei 190 Imp/min Nulleffekt erst ein absolut sicherer Nachweis von künstlicher Radioaktivität sind.

Am 3. *Meßtag* (9. März) ergaben einige Kurzmessungen in der unmittelbaren Nähe von E nur geringe Raten Z_A von 262 bis 310 Imp/min. — Auch die hier entnommenen Sandproben (je ca. 1 kg) für die Luminoforen-Untersuchung zeigten keine Radioaktivität auf dem Radiometer FH 40 T (Dosisleistungsmeßgerät mit einem Meßumfang für Gammastrahlung von 0,05 mr/h bis 50 r/h). — Daraufhin wurde der Vermutung nachgegangen, ob der radioaktiv markierte Sand in größeren Mengen im Wasser schwebend fortgetragen und über weitere Gebiete ausgebreitet sein könnte. An diesem Tage wurden deshalb noch etwa 30 Testmessungen (Meßzeit 15 bis 30 sec) und etwa 20 Messungen über zwei Minuten Zählzeit in einem etwa 20 km langen Küstenabschnitt vorgenommen. Die am weitesten in See gemessenen Punkte lagen etwa 2000 m vom Ufer entfernt! Der inzwischen aus SE aufgefrischte Wind erzeugte Seegang und Brandung und die Entfernungen wurden so weit, daß ein Einweisen des Hubschraubers über Funksprechgeräte für eine Anzahl von Punkten nicht mehr möglich war. — Für die kurzen Testmessungen von 15 bis 30 sec wurde der Schwellendiskriminator auf etwa 0,62 MeV gelegt. Die Meßanordnung war damit empfindlicher. Die Werte für die Nullraster wurden entsprechend korrigiert.

Alle aufgenommenen Werte zeigten reinen Nulleffekt und waren ein Nachweis dafür, daß der radioaktiv markierte Sand in die untersuchten Gebiete nicht abgewandert sein konnte.

Die stürmische Wetterlage war der Anlaß für eine mehrtägige Pause. In dieser Zeit wurde der Strand mit dem Radiometer FH 40 T kontrolliert (11. März), ob eine radioaktive Verseuchung der Strandgebiete eingetreten sei. Aber an keiner Stelle konnte irgendeine künstliche Aktivität nachgewiesen werden.

Am 4. *Meßtag* (13. März) wurden nochmals 24 Test- und Kurzmessungen in einem 15 km langen Küstenstreifen ebenfalls ohne Befund durchgeführt. Das Ausbringen von Markierungsbojen war bei dem Nordwind (4-5, in Böen 6) und Seegang 2-3 nicht möglich, weil das Boot in der starken Brandung nicht verkehren konnte.

Am 5. *Meßtag* (14. März) herrschte SE-Wind um 4, der einen Seegang 1-2 und schwache Brandung erzeugte. Kleine Schneeschauer erschwerten zeitweise die Navigation und die geodätische Ortung. Es wurden sieben Profile mit jeweils drei Bojen über einem 2,6 km langen Küstenstreifen ausgelegt und in jedem Profil etwa 6 bis 8 Punkte gemessen. Außerdem wurde die Einbringestelle E sternförmig angefliegen und im Umkreis von maximal 200 m systematisch mit 25 Meßpunkten abgesucht. Dabei konnte in dem Untersuchungsgebiet zum ersten Mal absolut sicher eine künstliche Radioaktivität nachgewiesen werden. Die Aktivitätsraten lagen zwischen 100 und 172.000 Imp/min. Der radioaktiv markierte Sand hatte sich auf eine begrenzt kleine Fläche ausgebreitet. Die Ausdehnung auf dem Riff betrug parallel zum Ufer etwa

180 m in einer Breite von 80 m. Der trockene Strand oberhalb der Uferlinie wies keine Spuren von Radioaktivität auf.

Nach diesem Ergebnis konnte nochmals eine Pause eingelegt werden. Am 6. *Meßtag* (21. März) wurden 33 Aktivitätswerte in der Nähe der Einbringestelle E, 20 Werte westlich und 6 Werte östlich von E gewonnen.

Insgesamt zeigten 31 Werte in dem an diesem Tage ausgemessenen Küstenstreifen von 1,2 km Aktivitätsraten A_R von 110 bis 210.000 Imp/min. Die Gebiete, in denen die Grenzen der künstlichen Radioaktivität nicht genau erfaßt werden konnten, wurden am 7. *Meßtag* (22. März) kontrolliert. Am 15. Tage nach dem Einbringen der Tracermenge mit 3 Curie Scandium-46 lag die Grenze der nachweisbaren künstlichen Radioaktivität bei 500 m westlich und 1000 m östlich der Eingabestelle E auf dem Riff. Auf dem trockenen Strand und in dem Gebiet außerhalb des seewärts der Uferlinie gelegenen 200 m breiten Küstenstreifens waren keine meßbaren Spuren des radioaktiv markierten Sandes zu finden.

Am 8. *Meßtag* (4. April), dem 28. Tage nach dem Einbringen des markierten Sandes wurden 87 Werte gemessen, davon zeigten 42 künstliche Aktivitätsraten von 100 bis 100.000 Imp/min.

Am 25. April mußte das Meßprogramm abgebrochen werden, weil ein Fehler in der Elektronik der Meßsonde mit den zur Verfügung stehenden Werkzeugen und Meßinstrumenten nicht behoben werden konnte.

Das Untersuchungsgebiet wurde nach einem Jahr am 26. April 1963 noch einmal überprüft mit 66 Aktivitätsmessungen (siehe auch [6]). Von diesen zeigten 15 Meßpunkte noch eindeutig künstliche Aktivität, wenn auch nur in geringen Spuren. Am Schluß waren wiederum 10 Fehlmessungen als Folge von Gerätefehlern zu verzeichnen.

In dem Meßabschnitt Ostsee sind

142 A_R -Meßwerte mit künstlicher Aktivität und

220 N_R -Meßwerte mit Nulleffekt, das sind

insgs. 362 Meßwerte, zusammengetragen worden.

3 — AUFBEREITUNG DER MESSWERTE

Die Nullraten N_R für das Untersuchungsgebiet wurden schon vor dem Einbringen des radioaktiv markierten Sandes ermittelt (vergl. Abschnitt 2.2).

Allgemein ergibt sich die Aktivitätsrate aus der Differenz der Zählrate Z_R und der Nullrate N_R

$$A_R = Z_R - N_R$$

Die Intensität (Aktivität) des Radioisotops Scandium-46 nimmt mit der Dauer der Messungen nach dem Zerfallsgesetz

$$N = N_0 \cdot e^{-t/\tau} \quad (1)$$

ab, worin N_0 = Anfangsintensität, wie Zahl der Atomkerne zur Zeit $t = 0$,

N = Intensität zur Zeit t , d.h.

Zeit, in der im Durchschnitt N_0 auf $N = \frac{N_0}{e}$ abklingt, da $\tau = T_{1/2}/\ln 2$

mit $T_{1/2}$ = Halbwertszeit (für Sc-46 = 84 Tage),
gilt auch

$$N = N_0 \cdot 2^{-t/T_{1/2}} \quad (2)$$

N_0 betrug am Einbringetag (7. März 1962) 3 Curie.

Für die Einzelnen Meßtage ergaben sich nach Formel (2) nachstehende Werte

TABELLE II

Datum	Tage	$2^{-t/T^{1/2}}$	Umrechn.-Faktor	N in Curie
7.3.62	0	1,00	1,000	3,00
14.3.62	7	0,94	1,060	2,82
21.3.62	14	0,89	1,125	2,67
4.4.62	28	0,795	1,260	2,38
25.4.62	49	0,55	1,500	2,00
26.4.63	415	0,032	31,0	0,097

Die Werte der Aktivitätsmessungen mußten für die durchgeführten Vergleiche (Aktivitätswerte für gleiche Meßpunkte nach verschiedenen Zerfallszeiten) entsprechend umgerechnet werden. Das Bodenrelief war dabei zu berücksichtigen (Bild 11).

Die so gefundenen N-Werte wurden in die Pläne neben die lagetreuen Meßpunkte eingetragen. Danach konnten Linien gleicher Aktivitäten (Isoimpulslinien) gezeichnet werden (Bild 12-15).

Die Wetterwarte Kiel stellte für den behandelten Zeitabschnitt die Windtabelle zur Verfügung (Tab. III).

Je nach Wetterlage findet ein mehr oder weniger starker Wasseraustausch zwischen der Ostsee und der Nordsee statt. Lang anhaltende starke Westwindperioden bewirken ein Absinken des Wasserspiegels in der westlichen Ostsee und damit ein Einströmen von Nordseewasser. Umgekehrt führen Stürme aus östlichen Richtungen (insbesondere aus NE) hier zu höheren Wasserständen. Dabei wird Ostseewasser an die Nordsee abgegeben. Im allgemeinen ist auch die Brandung dann am stärksten mit einem resultierenden Brandungsstrom von Ost nach West.

Nach den von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung überlassenen Aufzeichnungen des Schreibpegels Strande bei Kiel wurde in Bild 16 die Ganglinie der Wasserstände während der Untersuchungszeit dargestellt.

4 — BEWERTUNG UND FOLGERUNGEN

- 1) Das Verfahren, die Sandwanderung an Brandungsküsten mit radioaktiv markiertem Sand zu messen, wurde unter einfachen Bedingungen am gezeitenfreien Ostseestrand unter Verwendung der beschriebenen elektronischen Meßanordnung erprobt.
- 2) Die Zusammenstellung des Arbeitsteams und die Verteilung der Aufgaben auf die Mitarbeiter hat sich als nützlich erwiesen. Die Gruppe ist vorbereitet auf den Einsatz unter schwierigeren Verhältnissen.
- 3) Das Nuklid Scandium-46 kann als geeigneter Meßtracer angesehen werden. Die Halbwertszeit von 84 Tagen und die beiden relativ harten γ -Linien erlauben die Anwendung der erläuterten Nachweismethode für den Wanderweg des radioaktiv markierten Seesandes bei wechselnder Stör- und Bodenstrahlung (Nulleffekt) niederer Energien und bei der hohen künstlichen Aktivität von 2-3 Curie über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr hinaus.
- 4) Für einen Meßabschnitt an gezeitenfreien Küsten dürfte eine Menge von 100 kg Sc-46 mit 1 Curie Aktivität ausreichen, da die Meßperiode im allgemeinen nicht länger als ein halbes Jahr dauern wird und auch bei größerer Verdünnung bis zu etwa 10^7 ein genauer



Bild 11 — Tiefenplan

M. 1:5000

Iso-Linien des radioaktiv markierten Seesandes

- Ostsee, Stakendorfer Strand 1962 -

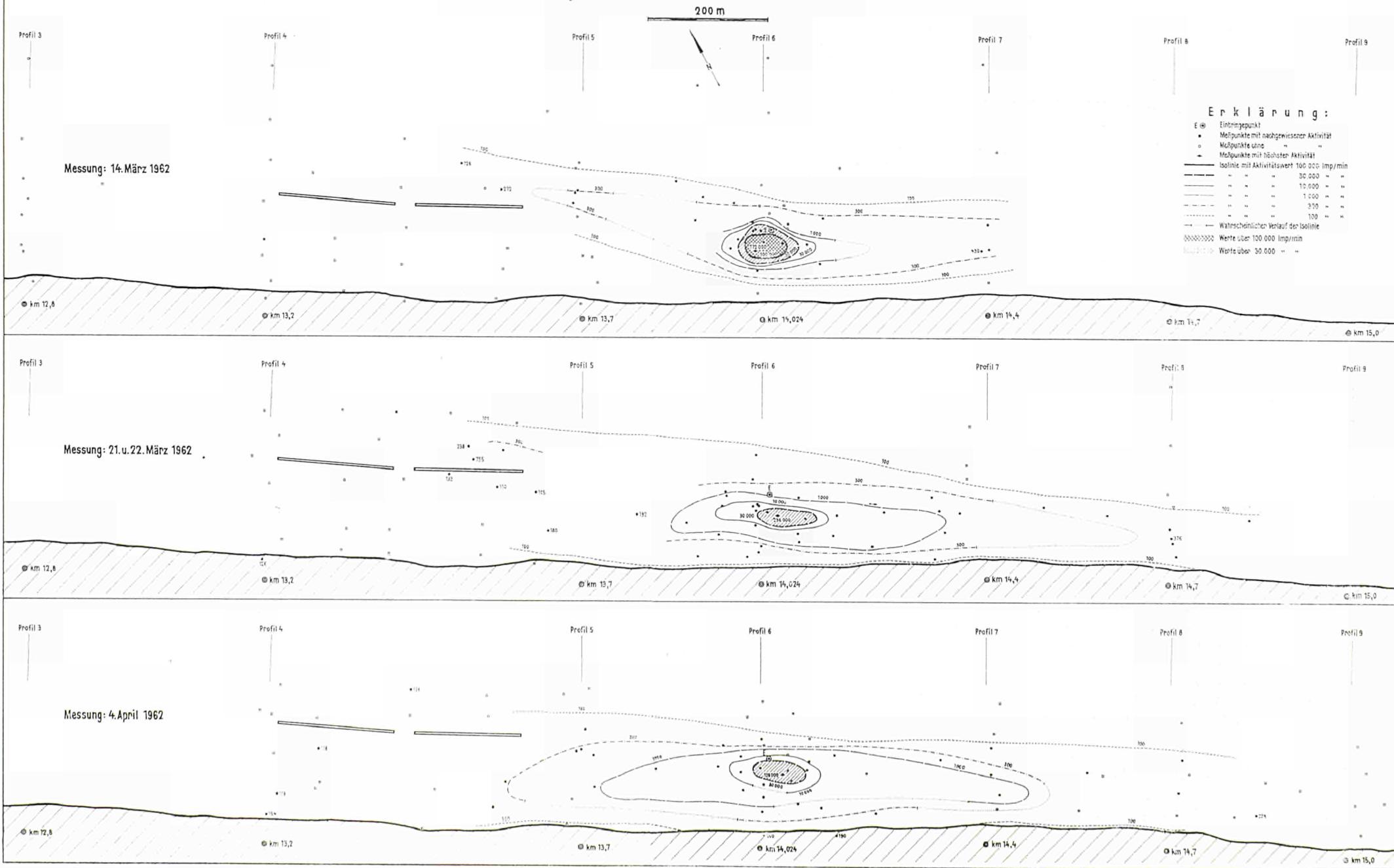


Bild 12

Iso-Linien des radioaktiv markierten Seesandes

– Ostsee, Stakendorfer Strand 1962 –

Erklärung:

- E ⊙ Einbringepunkt
- Meßpunkte mit nachgewiesener Aktivität
- Meßpunkte ohne " "
- ➔ Meßpunkte mit höchster Aktivität
- Isolinie mit Aktivitätswert 100.000 Imp/min
- - - " " " 30.000 " "
- " " " 10.000 " "
- - - " " " 1.000 " "
- - - " " " 300 " "
- - - " " " 100 " "
- Wahrscheinlicher Verlauf der Isolinie
- ▒ Werte über 100.000 Imp/min
- ▒ Werte über 30.000 " "

200 m

Messung: 14. März 1962

Profil 5

Profil 6

08

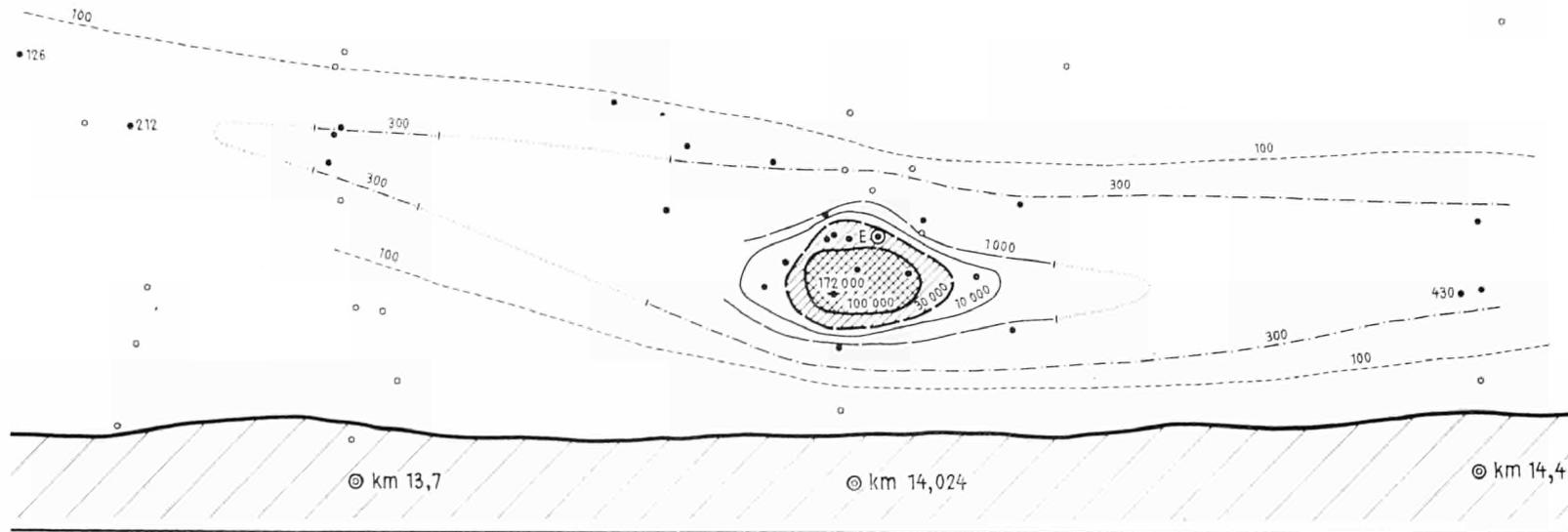


Bild 13

Iso-Linien des radioaktiv markierten Seesandes

– Ostsee, Stakendorfer Strand 1962 –

Messung: 21. u. 22. März 1962

Erklärung:

- E ⊙ Einbringepunkt
- Meßpunkte mit nachgewiesener Aktivität
- Meßpunkte ohne " "
- ◄ Meßpunkte mit höchster Aktivität
- Isolinie mit Aktivitätswert 100.000 Imp/min
- " " " 30.000 " "
- " " " 10.000 " "
- " " " 1.000 " "
- - - " " " 300 " "
- - - " " " 100 " "
- Wahrscheinlicher Verlauf der Isolinie
- ▨ Werte über 100.000 Imp/min
- ▨ Werte über 30.000 " "

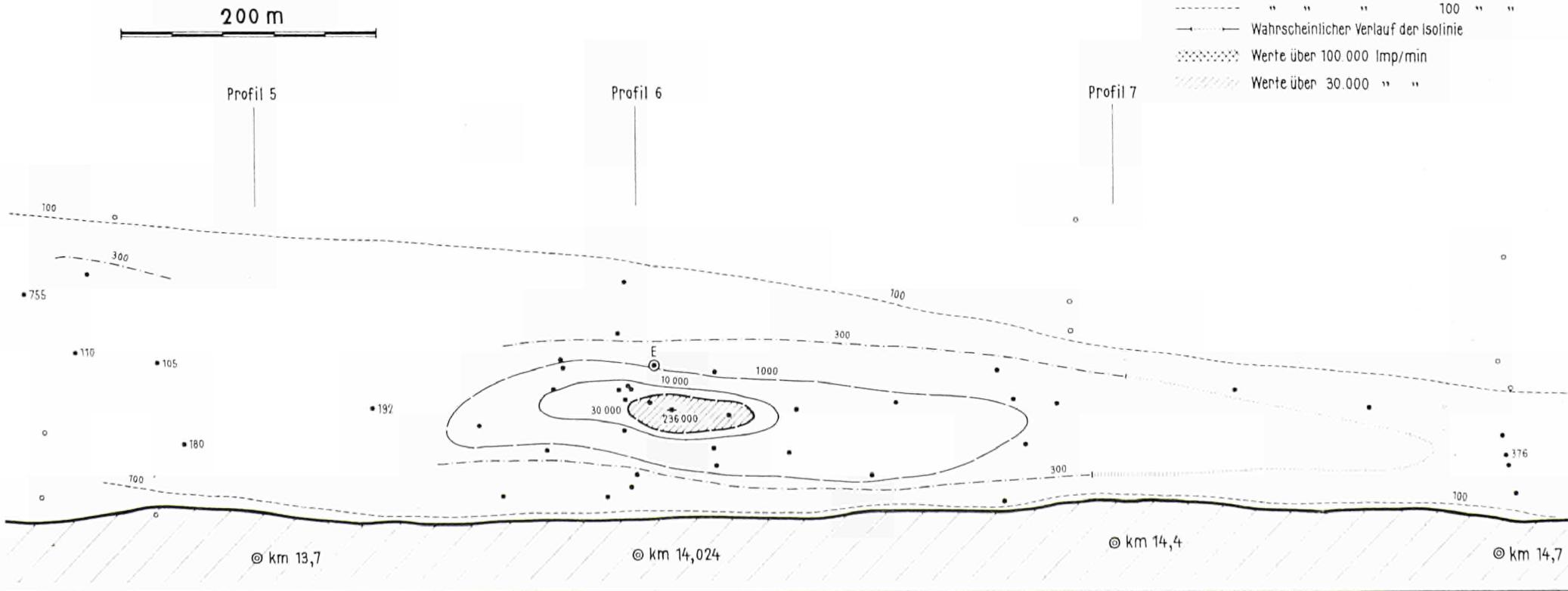


Bild 14

Iso-Linien des radioaktiv markierten Seesandes

– Ostsee, Stakendorfer Strand 1962 –

Messung: 4. April 1962

Erklärung:

- E ⊙ Einbringepunkt
- Meßpunkte mit nachgewiesener Aktivität
- Meßpunkte ohne " "
- ➔ Meßpunkte mit höchster Aktivität
- Isolinie mit Aktivitätswert 100.000 Imp/min
- " " " 30.000 " "
- " " " 10.000 " "
- " " " 1.000 " "
- - - " " " 300 " "
- - - " " " 100 " "
- ⋯ Wahrscheinlicher Verlauf der Isolinie
- ▨ Werte über 100.000 Imp/min
- ▧ Werte über 30.000 " "

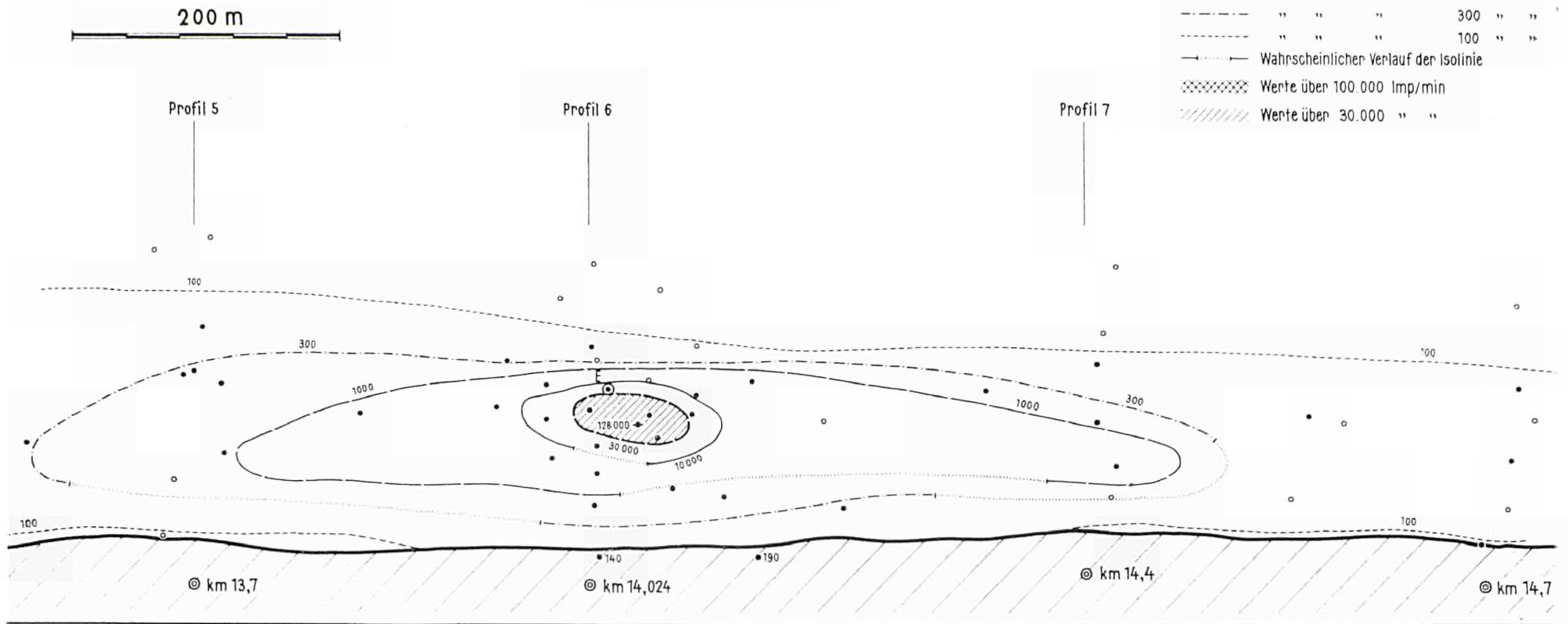


Bild 15

Tab. III: Windtabelle

Tag 1962	00-06 Uhr			06-12 Uhr			12-18 Uhr			18-24 Uhr		
	V m m/sec.	Böen >6	Wind- richtg.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5. 3.	6.7	6	ENE	7.2	6	ENE	6.4	6	ENE	4.5	-	NE
6.	3.0	-	N	3.1	-	NW	3.1	-	NW	3.4	-	WNW
7.	3.2	-	W	3.9	-	W	3.8	-	WNW	2.4	-	W
8.	2.4	-	SW	1.8	-	S	4.0	-	ESE	7.1	6	SE
9	9.2	7-8	SE	9.8	7-8	SE	7.9	7-8	ESE	4.8	-	S
10.	2.6	-	S	3.0	-	SSE	3.0	-	SSW	2.6	-	SW
11.	2.3	-	WSW	2.9	-	N	3.9	-	NE	4.2	-	NE
12.	5.3	-	ENE	5.2	-	NE	4.8	-	NE	4.7	-	NNE
13.	3.8	-	N	4.1	-	NW	4.0	-	NW	3.5	-	W
14.	3.3	-	WSW	3.9	-	S	5.1	6	S	3.6	-	SW
15.	3.6	-	W	4.3	-	NW	4.7	-	NNW	2.4	-	NW
16.	1.6	-	W	1.7	-	W	2.5	-	N	1.5	-	W
17.	1.7	-	W	2.6	-	NW	4.2	-	N	1.4	-	N
18.	1.8	-	NNW	2.7	-	N	3.5	-	N	2.1	-	NW
19.	2.2	-	WSW	2.8	-	W	2.7	-	NNW	1.7	-	W
20.	2.5	-	SW	2.6	-	WSW	3.7	-	SW	3.5	-	SW
21.	2.6	-	N	5.2	-	ENE	3.5	-	NE	0.7	-	N
22	1.0	-	W	0.5	-	W	1.7	-	ESE	2.1	-	SE
23.	1.3	-	SE	2.5	-	E	2.6	-	ENE	3.3	-	NNE
24.	3.5	-	N	4.0	-	N	2.6	-	NE	1.3	-	NW
25.	3.0	-	SW	3.7	-	WSW	3.5	-	WSW	2.4	-	SSW
26.	3.4	-	S	5.7	6	SSW	6.2	6	SSE	4.3	-	SSE
27.	3.5	-	SSW	4.7	-	SSE	3.3	-	SE	1.4	-	NNE
28.	3.3	-	NW	3.2	-	NW	1.8	-	ENE	2.2	-	S
29.	1.9	-	S	4.6	-	SE	7.5	6	SE	6.4	6-7	SE
30.	3.3	-	S	3.5	-	SW	3.5	-	S	2.5	-	SSE
31.	4.3	6	SW	9.0	6-8	WSW	9.1	8-7	WSW	5.3	-	WSW
1. 4.	4.4	-	SW	6.8	6-8	SW	9.0	8	WSW	6.5	6	WSW
2.	6.5	6-7	SW	9.6	7-8	WSW	9.3	8	W	5.6	6-7	SW
3.	7.2	7	SW	8.9	8	SSW	8.6	8	SSW	4.6	-	SW
4.	5.4	6	WSW	3.7	-	WSW	3.6	-	WSW	3.2	-	SSE
5.	2.9	-	SE	2.8	-	SE	2.7	-	E	3.0	-	ENE
6.	3.3	-	NNW	4.9	-	NNW	6.2	6-7	NW	5.4	6	W
7.	4.9	-	WSW	5.7	6	SW	6.4	6-7	SSW	7.1	6-7	WSW
8.	4.8	6	W	4.3	6	SW	6.8	6-7	SW	7.3	7-8	SW
9.	6.6	7	WSW	7.0	6-7	W	5.4	6	SW	4.4	-	WSW
10.	4.6	-	WSW	5.3	6	SW	5.8	6-7	SW	3.8	-	SW
11.	3.5	-	SSW	4.9	6	SSW	6.7	6-7	SSW	6.4	6-7	SSW
12.	5.0	6	WSW	5.3	-	W	7.7	6	W	5.0	-	W
13.	5.3	-	WSW	7.9	6-7	W	6.6	6-7	W	3.8	-	W
14.	5.8	-	N	6.9	6-7	NE	7.6	7-8	E	9.3	6-7	E
15.	8.8	6-7	E	9.6	7-8	ENE	13.4	8-10	E	13.5	8-9	E

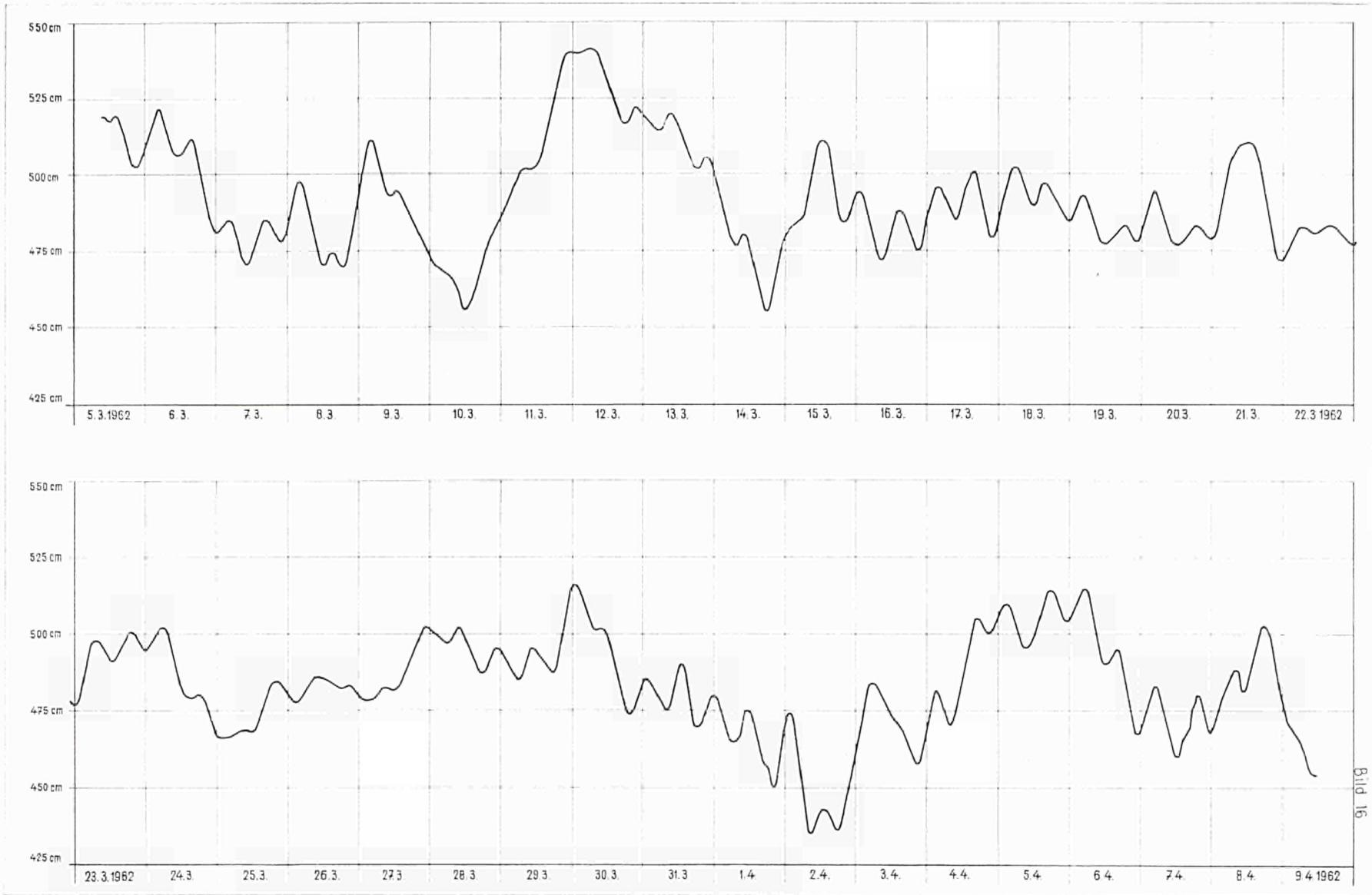


Bild 16

Bild 16

Nachweis der künstlichen Radioaktivität mit der hier angewendeten Meßgeräteanordnung möglich ist.

- 5) Die Kombination und Herstellung der Meßgeräte war zum Teil von der begrenzten Tragfähigkeit des Hubschraubers abhängig.
- 6) Die Messungen haben ergeben, daß die eingesetzte Geräteanordnung elektronisch und vom Meßprinzip her den geforderten Ansprüchen voll entsprach. Die Zähl- und Steuereinheiten als Röhrengeräte waren dagegen den mechanischen Erschütterungen im Hubschrauber nicht gewachsen und erwiesen sich für Arbeiten unter diesen Bedingungen als ungeeignet. Beim Heben und Senken des Hubschraubers mit Schwingungen hoher Amplitude und kleiner Frequenz blieben die Triggerimpulse für die Zähldekaden zeitweilig aus; die Rückstellung der Zeit und der Impulse war ebenfalls unregelmäßig. Bei starken Erschütterungen des Hubschraubers schaltete der Steuereinschub selbsttätig ein und aus und löschte laufende Zählraten. Das Ablesen der Meßwerte wurde dadurch erschwert.
- 7) Die Meßsonde hielt allen Erschütterungen und auch dem oft unsanften Absetzen vom Hubschrauber stand, sie erwies sich überhaupt als der stabilste Teil der Meßgeräteanordnung. Die Zähl- und Steuerteile sollen durch leichtere und gegen Erschütterungen sichere Transistoreinheiten ersetzt werden, die außerdem den Vorteil der geringeren Netzspannungsversorgung haben.
- 8) Die Störungen in den elektronischen Geräten lassen sich nicht ganz vermeiden; sie machen das Vorhalten einer doppelten und in Baueinheiten auswechselbaren Anordnung im Hinblick auf kostspielige Ausfälle notwendig.
- 9) Vergleichsmessungen der Radionuklid-Methode mit der Luminoforen-Methode versprechen wertvolle Erkenntnisse und sind zu intensivieren.
- 10) Der Hubschrauber ist ein wendiges Verkehrsmittel zum Transport des markierten Sandes vom Ufer bis zur Einbringestelle und zum Messen selbst.
- 11) Das Sandgefäß und seine Verschlusvorrichtung funktionieren. Die Gummidichtung des Deckels hat sich beim Öffnen an einer Stelle gelöst; sie war offenbar am Deckel verklebt. Das Dichtungsmaterial ist durch einen festen Stoff (eventuell Kupfer) zu ersetzen.
- 12) Der Abschirmbehälter, die Ausschwenkvorrichtung für seinen Deckel und die Verriegelung sind in Ordnung.
- 13) Die Gewerbeaufsicht stellte fest, daß die beiden Tragseile und das Zugseil, die während des Antransportes auf dem Sandgefäß im Abschirmbehälter zusammengebunden liegen müssen, mit Fernbedienungsgeräten herausgenommen werden sollten [4].
- 14) Das Bereithalten eines Probesandgefäßes ist notwendig zur Kontrolle der Traverse und der Auslösevorrichtung sowie zum Üben für das Arbeitsteam.
- 15) Auf das Bereithalten eines Bootes muß verzichtet werden. Stattdessen sind die Kufen des Hubschraubers gegen Schwimmer auszuwechseln.
- 16) Die Ortung kann mit vorbereiteten Basen von 600 m Länge und einfachen Feldtheodoliten beibehalten werden. Eine gute Lagegenauigkeit ist mit dem Vorwärtseinschnitt gewährleistet.
- 17) Eine laufende Verständigung des Meßleiters mit der Hubschrauberbesatzung und der zweiten Basisstation ist erforderlich und über Funksprechgeräte möglich.
- 18) Die Verlängerung des Tragseiles und des Sondenkabels gibt dem Hubschrauber die Möglichkeit, seinen Fixierpunkt selbst mitzuführen, so daß das Auslegen und Einholen von Hilfsbojen entfällt. Die Einbringestelle muß jedoch stets durch eine gut sichtbare Boje gekennzeichnet sein.

- 19) Als Tragseil muß ein geflochtenes Seil verwendet werden, weil die unter dem Hubschrauber hängende Sonde sonst in Drehungen versetzt und das Sondenkabel auf Zug beansprucht wird. Kabelbrüche sollen dadurch vermindert oder vermieden werden [6].
- 20) Aussagen über Schichtverlagerungen, Vermischung und Überlagerungen des radioaktiv markierten Sandes und damit über die transportierte Sandmenge waren mit der vorhandenen Strahlungsmeßanordnung nicht möglich. Hierfür wären spektrometrische Messungen und genauere Grundlagenuntersuchungen vorzunehmen.
- 21) Bodenproben zum Auszählen der Luminiforen sollen beim nächsten Meßabschnitt mit Greifern vom Hubschrauber aus — statt vom Boot aus — gewonnen werden. Ein geeignetes Gerät zur Entnahme ungestörter Sandproben von 30-50 cm Bodentiefe steht noch nicht zur Verfügung.
- 22) Der Nulleffekt ist in schlickigen Gebieten höher als in reinem Sand, hinter einem Strandwall oder Deich höher als auf dem trockenen Sandstrand gemessen worden. Eine Bagger-schüttstelle konnte wegen der hohen Nullrate lokalisiert werden. — Auffällig war auch die verhältnismäßig hohe Strahlung des schlickigen Bodens im Kieler Hafen. — Im groben Nullraster für natürliche Strahlung von Energien über 0,66 MeV streuten die Werte an der Gewässersohle bis zu 100 und 200 %. In jedem Fall aber waren es fest abzugrenzende Gebiete, die bei den Messungen der künstlichen Aktivität besonders berücksichtigt wurden.
- 23) Die Ausbreitung der radioaktiv markierten Feststoffe läßt sich im Brandungsbereich schnell und sicher mit den empfindlichen Meßgeräten nachweisen und kartieren. Die Zweckmäßigkeit einer Korrektur des Meßplanes ist schon während der Messung selbst zu erkennen. Eine Änderung kann sofort vorgenommen werden.
- 24) Der markierte Sand hat sich zum größten Teil auf dem Sandriff verteilt. Auf dem trockenen Strand waren nur Spuren von künstlicher Aktivität vorhanden. Auch ist eine seewärtige Verfrachtung nicht festgestellt worden.
- 25) Die Bestimmungen des Strahlenschutzes konnten mit entsprechenden Vorkehrungen eingehalten werden.

SCHRIFTTUM

- 1 — H. GÖTTE und H. BECKER — Verfahren zur Oberflächenmarkierung von natürlichem Sand mit Radionukliden. Studie Nr. 3 (S. 19-25 dieses Heftes).
- 2 — M. PETERSEN — Über die Bedeutung von radioaktiv markiertem Sand für wasserwirtschaftliche Aufgaben. Studie Nr. 1 (S. 3-14 dieses Heftes).
- 3 — M. PETERSEN — Über die bekannten Untersuchungen zur Sandbewegung mit radioaktiven Indikatoren. Studie Nr. 2 (S. 15-18 dieses Heftes).
- 4 — M. PETERSEN — Risiko und notwendige Schutzmaßnahmen bei der Isotopenanwendung. Studie Nr. 5 (S. 45-55 dieses Heftes).
- 5 — M. PETERSEN, G. SCHULZE-PILLOT und E. THOMSCHKE — Entwicklung eines Sandgefäßes, eines Abschirmbehälters und einer Traverse zum Transport von aktivem Seesand. Studie Nr. 4 (S. 27-44 dieses Heftes).
- 6 — M. PETERSEN, B. BÖTTCHER und R. DOLEZAL — Meßbericht II, Nordsee, Westerland/Sylt. Studie Nr. 7 (S. 87-114 dieses Heftes).

MESSUNG DER SANDWANDERUNG IN DER BRANDUNGSZONE
MIT SCANDIUM 46

MESSBERICHT II, NORDSEE/WESTERLAND

von M. PETERSEN, B. BÖTTCHER und R. DOLEZAL

I N H A L T

	Seite
1 — Vorbemerkungen	88
2 — Geräteinsatz	88
2.1 — Tauchsonde mit Strahlungsdetektor	88
2.2 — Linearverstärker, Zähl- und Steuergeräte	91
2.3 — Spannungsversorgung	93
3 — Funktionsprüfung und Eichung der Meßanordnung	93
3.1 — Funktionsprüfung	93
3.2 — Eichung	93
3.3 — Ermittlung der Halbwertsdicken	95
3.4 — Erprobung der Meßanordnung mit Hubschrauber	98
4 — Ortung	99
5 — Durchführung der Messungen	103
6 — Bewertung und Folgerungen	112
Schrifttum	113

1 — VORBEMERKUNGEN

Die Messungen am Strand vor Westerland auf der Insel Sylt fanden in der Zeit vom 3. April bis 14. Mai 1963 in einer verhältnismäßig windschwachen Wetterperiode statt, in welcher keine nennenswerte Brandung auftrat (Bild 1).

Eine Kontrollmessung wurde am 4. November 1963 durchgeführt im Anschluß an den Abschnitt III des Forschungsprogramms [3].

In der vorliegenden Studie wird auf eine Wiederholung der in [2] beschriebenen Maßnahmen verzichtet, sofern sie beibehalten oder nur unwesentlich geändert wurden.

Um die Verhältnisse an den Brandungsküsten der Nordsee vor Sylt mit denen an der Ostseeküste vergleichen zu können, sind auch in diesem Abschnitt 100 kg mit Scandium-46 radioaktiv markierten Seesandes und einer Gesamtaktivität von 3,2 Curie angeliefert und südwestlich von Westerland auf dem Riff abgesetzt worden.

Mit der Leitung des Flugplatzes Westerland wurde vereinbart, daß während der Dauer der Messungen und während des Einbringevorganges keine Flugzeuge das Gebiet in niedriger Höhe überfliegen durften.

Die Kufen des Hubschraubers wurden durch Schwimmer ersetzt. Somit erübrigte sich das Vorhalten eines Bootes. Nur in den ersten Tagen lag der im Hafen List auf Sylt stationierte Seenot-Rettungskreuzer der Deutschen Gesellschaft zur Rettung Schiffbrüchiger aus Gründen der Sicherheit in der Nähe des Untersuchungsgebietes. Mit dem Kreuzer bestand Funksprechverbindung.

2 — GERÄTEEINSATZ

Bei der Messung der Sandwanderung an der Ostseeküste im Frühjahr 1962 [2] mußten die Aufnahmen der Aktivitätswerte infolge der häufigen Ausfälle der Strahlungsmeßgeräte oft unterbrochen werden. Die relativ großen Massen der Zähl- und Steuereinheiten bildeten die gegen mechanische Erschütterungen des Hubschraubers empfindlichsten Einheiten. Elektronisch und vom Meßprinzip her entsprach die Gerätekombination jedoch voll den gestellten Ansprüchen.

Zur Fortführung der Untersuchung wurde daher eine leichtere, weniger empfindliche Meßanordnung in doppelter Ausführung zusammengestellt, die nach dem erprobten Meßverfahren arbeitet.

2.1 — Tauchsonde mit Strahlungsdetektor

Als Detektor wurde die Sonde B neu entwickelt und hauptsächlich benutzt (Bild 3).

Die 23 mm starke Bleiabschirmung der Sonde A des Sekundärelektronenvervielfachers wurde fortgelassen, da der Einfluß von z.B. äußeren magnetischen Streufeldern auf die Verstärkung oder die Erzeugung von Fehlimpulsen durch äußere Effekte vernachlässigbar gering war. Das Sondengewicht verringerte sich in wünschenswerter Weise.

Die Sonde B erhielt einen Szintillationszähler mit einem $3 \times 3''$ -Kristall. Die Empfindlichkeit für die Messung von Scandium-46 konnte somit um den Faktor zwei erhöht werden. Aus Mikrodynzellen von 30 Volt wurden wiederum bis zu 1200 Volt für die Dynoden des Multipliers entnommen, wie auch die Spannung für die Kollektorstufe, die als Impedanzwandler zur Anpassung des Ausganges an das 60 Ohm-Kabel dem Multiplier nachgeschaltet ist.

Kristall, Multiplier, Impedanzwandler und die Batterien für Spannungsversorgung sind in ein Kunststoffrohr aus Polyäthylen mit einem spezifischen Gewicht von ca. 1 kp/dm^3 wasserdicht und erschütterungssicher eingebaut. In die Kabeldurchführung wurde das mit Plastikschlauch wasserdicht überzogene Koaxialkabel mit Silicon-Kautschuk eingegossen.

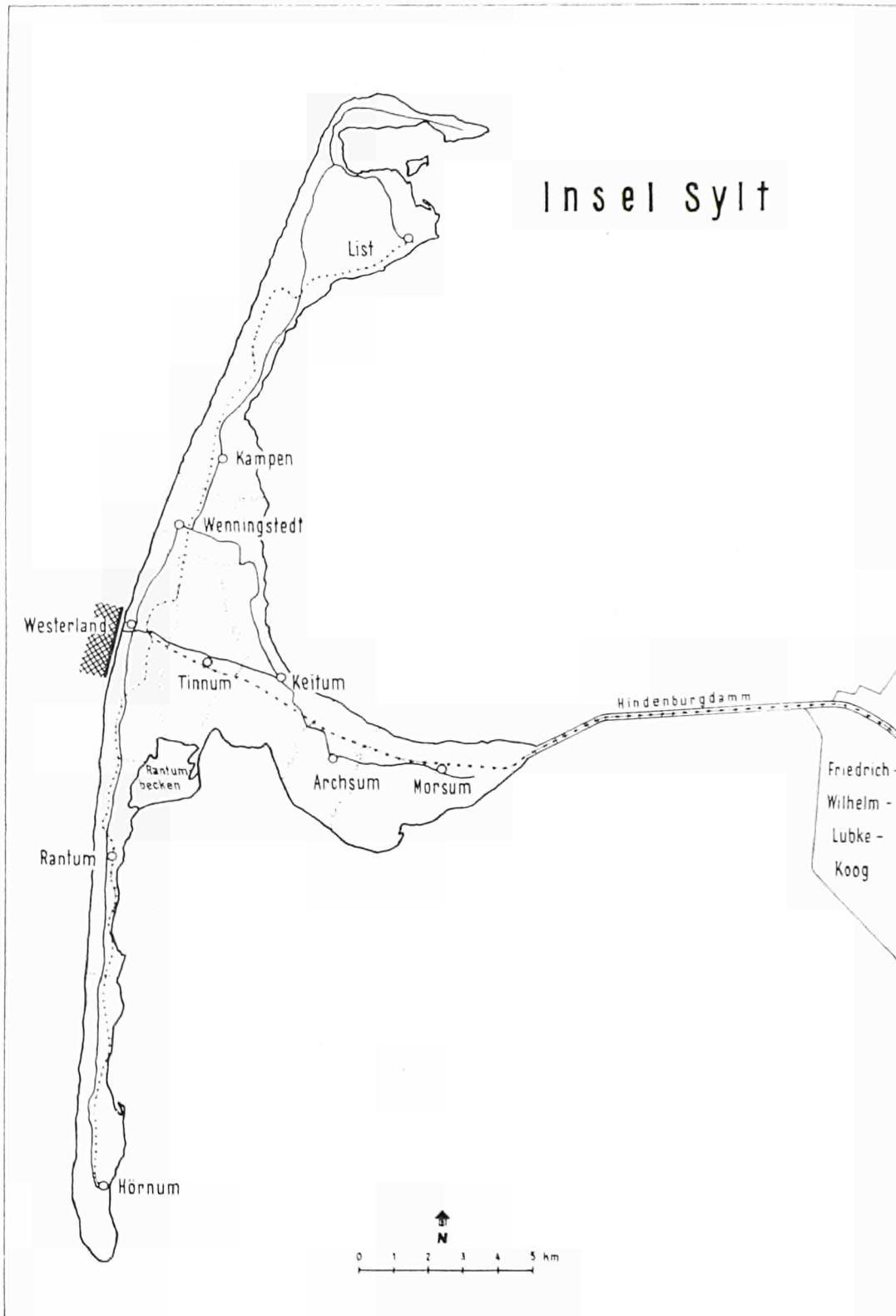


Bild 1

Tiefenplan und Nulleffekt-Messung

Westerland / Sylt 19 6 3

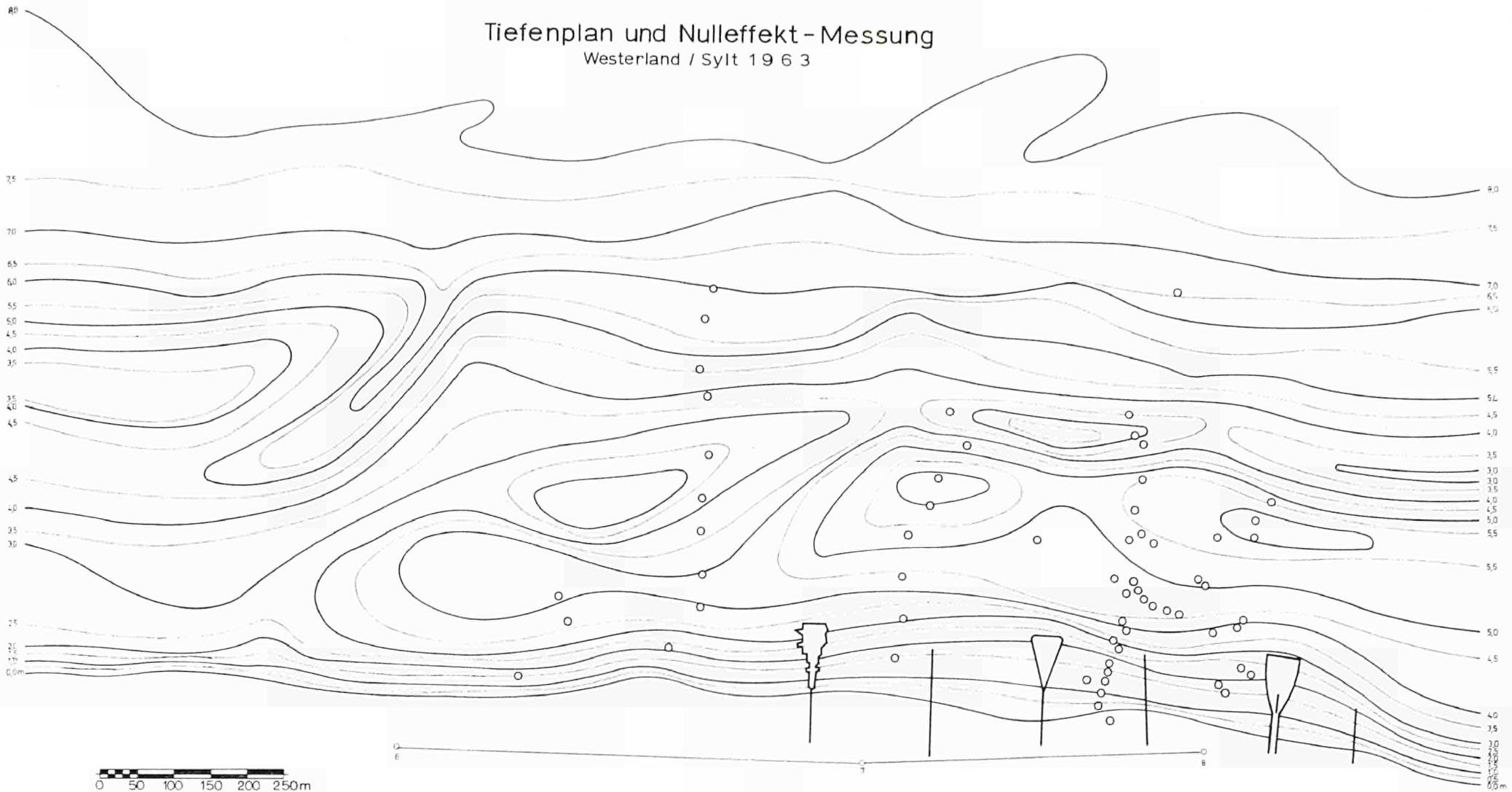


Bild 2

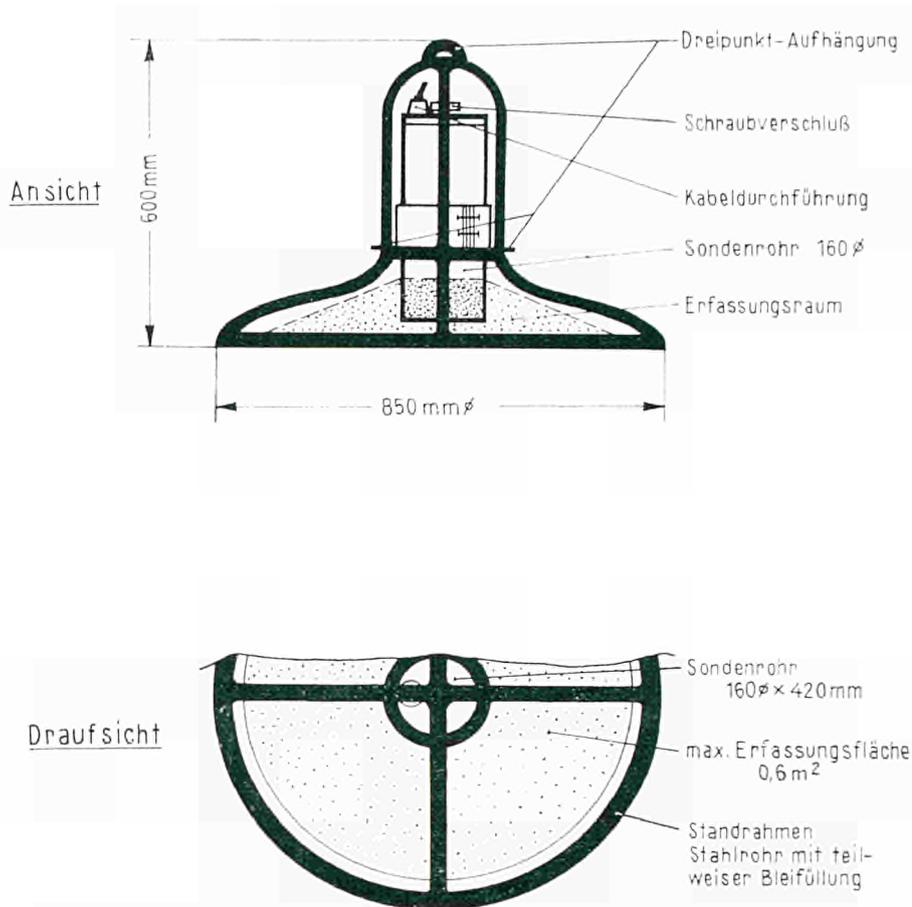


Bild 3 — Tauchsonde B mit Szintillationszähler und Hochspannung (Schema)
(siehe Bild 4, Meßgeräteanordnung)

Das Kunststoffrohr mit einem Außendurchmesser von 160 mm, einer Wandstärke von 5 mm und einer Länge von 420 mm wird in einem Sondengestell gehalten.

Der aus 44 und 27 mm Stahlrohr gebaute Tauchsondenrahmen konnte in den Abmaßen bedeutend kleiner gebaut werden als bei der Sonde A. Sein Durchmesser beträgt 850 mm und seine Höhe 600 mm. Der untere Rohrkreis der Sonde B wurde zur Erhöhung der Standfestigkeit mit Blei ausgegossen, so daß auch bei starker Brandung gleiche Meßgeometrie für jeden Meßpunkt gewährleistet ist.

Die Sonde wiegt mit 20 m Perlenseil von 12 mm Stärke sowie den 15 m Koaxialkabel insgesamt 40 kg. Dieses Gewicht wurde als Kompromiß aus der Standfestigkeit der Sonde und dem begrenzten Zuladungsgewicht des Hubschraubers gewählt.

Die Meßsonde gibt am Ausgang des Impedanzwandlers, der mit zwei pnp-Germanium Transistoren 2 N 1395 der Firma RCA bestückt ist, für die 1,12 MeV-Linie Impulse von der Größenordnung zwei Volt an den Vorverstärker RIDL 30-19 weiter.

Während die Tauchsonde B für den normalen Einsatz bestimmt war, stand die Sonde A voll funktionsfähig als Reservegerät zur Verfügung.

2.2 — Linearverstärker, Zähl- und Steuergeräte

Zur Verstärkung der positiven Ausgangsimpulse des Szintillationszählers dient ein Verstärker mit nachgeschaltetem Diskriminator und anschließend eine Steuer- und Zählseinheit

zur Informationsaufnahme und Registrierung (Bild 4). Um Gewicht und Platz für diese in den Hubschrauber einzubauenden Geräte zu sparen und die Leistung zu erhöhen, wurden volltransistorisierte Einheiten verwendet. Es standen Seriengeräte der amerikanischen Firma RIDL zur Verfügung, die von der Firma Frieseke & Hoepfner vertrieben wurden.

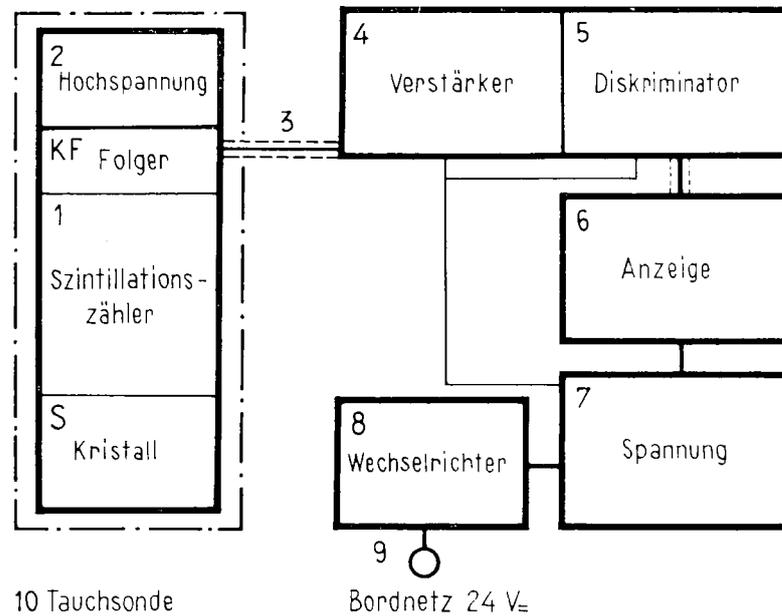


Bild 4 — Meßgeräteanordnung

- 1 Szintillationszähler mit S Gammameßkopf (3 × 3"-NaJ(Tl)-Kristall)
KF Kollektorstufe als Impedanzwandler
- 2 Hochspannung für den Multiplier (1200 V aus 40 Mikrodynzellen à 30 V) und Spannung für die Kollektorstufe
- 3 15 m Koaxialkabel 60 Ohm
- 4 Vorverstärker (RIDL 30-19 Diskriminator)
- 5 Integraldiskriminator (RIDL 30-19 Diskriminator)
- 6 Zählgerät (RIDL 49-25 Seven Decade Electro-Mechanical Scaler-Timer)
- 7 Netzteil 220 V~ für 4,5 und 6 (RIDL 29-1 Case and Power Supply)
- 8 Wechselrichter « Kaco » für 24 V= / 220 V~
- 9 24 V= Bordnetz des Hubschraubers « Bcll G2 »
- 10 Tauchsonde enthaltend 1, S, KF, 2 und 3

Der Verstärker RIDL Modell 30-19 liefert Ausgangsimpulse zwischen 0 und 10 V positiver Polarität mit maximaler Anstiegszeit von 0,25 Mikrosekunde. Die Schwellen des Diskriminators in dem Einschub 30-19 lassen sich mittels eines Helipot zwischen 0,1 und 10 Volt beliebig fein einstellen. Bei einer Verzögerungszeit unter einer Mikrosekunde liefert der Diskriminator positive Ausgangsimpulse von 10 Volt mit einer Linearität von 0,25 %. Das Model 49-25 der Firma RIDL enthält den Zähl- und Zeiteinschub. Der Zähler bekommt die positiven 10 Volt-Impulse des Diskriminators. Die ersten drei Dekaden werden elektronisch, die nächsten vier mechanisch gezählt. Die Gesamtkapazität beträgt also 10^7 Impulse. Die Verzögerungszeit ist kleiner als eine Mikrosekunde; der mechanische Zähler begrenzt die größte fortlaufende Zählrate mit 20.000 pro Sekunde.

Bei den Messungen mit diesen Einheiten konnte die maximale Zählrate mit 16.000 Informationen pro Sekunde festgestellt werden.

Die mit dem Zähler kombinierte Steuer- oder Zeitfunktion ist von Hand zwischen 1 Sekunde und 60 Minuten vorgegebener Meßzeit einstellbar. Sie enthält die Drucktasten :

Reset, Stop, Manual Count und Preset Time. Die elektronische Uhr wird über die Netzfrequenz 50 Hz gesteuert.

2.3 — Spannungsversorgung

Die Speisung der Dynoden des Sekundärelektronenvervielfachers von 90 bis zu 1200 Volt aus Einheiten von 30 V Mikrodynzellen (Hörgerätbatterien) und der Einbau dieser Spannungseinheiten in die Tauchsonde B erwies sich als eine konstruktiv günstige und auch preiswerte Lösung. Bei einem Strombedarf von einigen Mikroampère ist die Lebensdauer von über einem Jahr gewährleistet. Auch die Kollektorstufe wird aus den sehr spannungskonstanten Zellen versorgt.

Für die Speisung der im Hubschrauber eingebauten Geräte wird eine Leistung von ca. 40 bis 60 Watt benötigt.

Die Spannungsschwankungen der Lichtmaschine (während des Fluges 28 Volt und bei Akkubetrieb 24 Volt), die Frequenzänderungen des Wechselrichters und der Einfluß dieser Fakten auf die elektronische Uhr, verlangten eine sorgfältige Eichung der Meßgeräte.

Der Einfluß der Spannungswerte auf die Zählraten und die Anfälligkeit des Wechselrichters gegen zu große Überspannungen, z.B. infolge statischer Aufladung, lassen eine Umstellung der gesamten Meßanlage auf Batteriebetrieb ratsam erscheinen.

3 — FUNKTIONSPRÜFUNG UND EICHUNG DER MESSANORDNUNG

3.1 — Funktionsprüfung

Die gesamte Gerätekombination wurde vor dem Einbau in den Hubschrauber und dem Einsatz für die Messung der Sandwanderung auf Funktionszuverlässigkeit untersucht.

Bei Netzbetrieb wurde mittels Oszillographen die Diskriminatorschwelle beobachtet. Für mehrere Schwellenwerte ergaben sich nach 2-3 Stunden Beobachtungszeit keine Abweichungen von den Einstellwerten. Es wurden im Diagramm « Impulszahl zu Schwellendiskriminator » (ähnlich Bild 5) Kurven für den Nulleffekt, ein Sc-46 Standard und ein Cs-137 Standard aufgenommen, sowie günstige Arbeitspunkte für die Scandium-Messung beider Anordnungen überschlägig bestimmt.

Eine Gerätekombination wurde in den Hubschrauber eingebaut und bei Netzspannung 220 V, Akkubetrieb 24 V Gleichspannung und bei Speisespannung 24 V Lichtmaschine, die eine Effektivspannung von 28 V = erzeugte, betrieben.

Während des Fliegens und bei stehender Maschine sind keine Einstreustörungen durch Funken der Kerzen, Regler, Schalter o.ä. festgestellt worden. Alle Werte der Impulsraten lagen bei Betrieb der Geräte aus der Lichtmaschine um ca. 10 % tiefer als bei Netz- oder Akkuspannung. Da alle Messungen der Sandwanderung mit laufender Maschine aufgenommen wurden, erschien diese Meßwertänderung ohne großen Einfluß für die Gesamtbewertung der Messungen.

Gegen mechanische Erschütterungen und ähnliche Belastungen war die gesamte elektronische Anordnung stabil. Als sich bei einem Probeflug mit der Meßsonde B die Seilhalterung an dem Sondengestell löste, fiel die Tauchsonde aus 40 m Höhe auf weichen Boden. Das Sondengestell und -rohr wurden zwar verbogen, der Kristall und die Hochspannung im Sondenrohr blieben jedoch ohne Schaden und arbeiteten bei anschließenden Testmessungen einwandfrei.

3.2 — Eichung

Die ungebraute Sonde A und die Sonde B wurden für die Messung der Aktivität des Sc-46 geeicht. Der schon an der Ostsee eingesetzte Eichsteller [2] hatte am 1.4.1963 nur noch

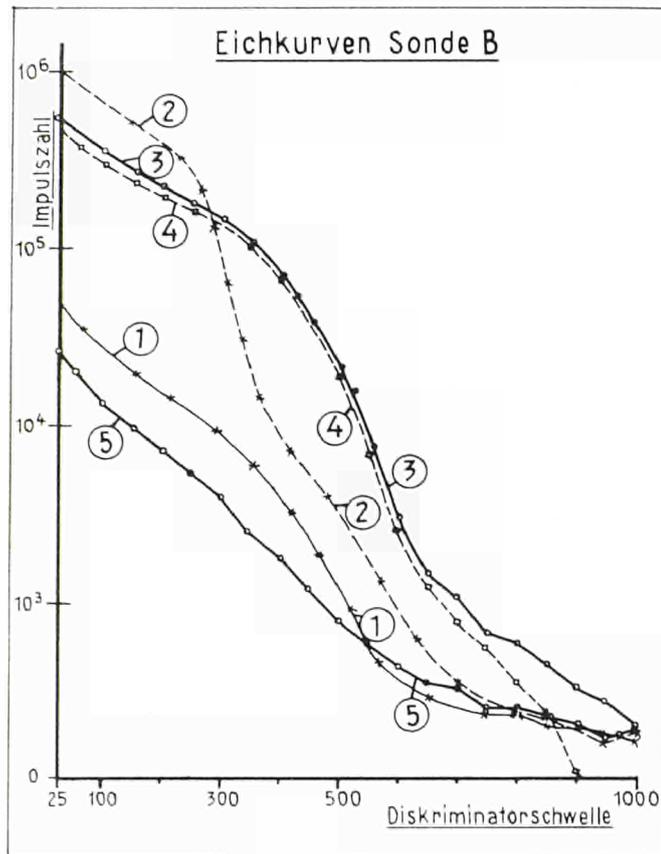


Bild 5 — Aufnahme von Vergleichskurven mit der Sonde B

- 1 Nulleffekt (Holzfußboden), N_R
- 2 Cs-137 Standard, 5 mr
- 3 Eichzähler Sc-46, 12 μc , Zählrate Z_R
- 4 Eichzähler Sc-46, 12 μc , Aktivitätsrate ($Z_R - N_R$)
- 5 Nulleffekt von feuchtem Strandsand

eine Aktivität von 0,035 μc . Die Zählrate für die Sonde B lag auf trockenem Sande um 50 % über dem Nulleffekt; die maximale Empfindlichkeit der Sonde war damit gerade erreicht. Bei 3,2 Curie einzubringendem Sand konnte der Verdünnungsfaktor auf etwa $9 \cdot 10^7$ überschlägig berechnet werden. Für die Sonde A reichte die Aktivität des Eichzählers nicht mehr aus.

Für genauere Eichmessungen wurde daher ein Eichpräparat größerer Aktivität hergestellt :

10 g des mit Sc-46 markierten Seesandes (Aktivität 320 μc am 1.4.1963) wurden unter Beachtung der Strahlenschutzbestimmungen aufgeteilt und ca. 2,20 g (70 μc) mit Sand und Zement vermischt. Die mengenmäßige Teilung des radioaktiv markierten Sandes konnte mit der Sonde B aus den Impulszahlenverhältnissen bei konstanter Meßgeometrie ermittelt werden.

40 kg des Original-Seesandes wurden mit 4 kg Zement und den 70 μc des markierten Sandes vermischt, so daß sich in der Aluminiumschale von 850 mm Durchmesser und 55 mm Kantenhöhe eine Schichtdicke von 45 mm ergab, das sind 25,6 dm^3 Eichpräparat. Die spezifische Aktivität des Eichstrahlers betrug somit $1,59 \cdot 10^{-3} \mu\text{c/g}$ und entsprach derjenigen der einzubringenden Sandmenge von 100 kg mit 3,2 Curie Gesamtaktivität

bei einem Verdünnungsfaktor von $2 \cdot 10^3$. Die Radioaktivität des Eichstrahlers übertraf die in der ersten Strahlenschutzverordnung vom 24.6.1960 angegebene Freigrenze von $10 \mu\text{c}$ oder $0,01 \mu\text{c/g}$ und unterlag damit den Schutzvorschriften für den Umgang mit radioaktiven Stoffen.

Mit Hilfe des Eichstrahlers von $70 \mu\text{c}$, eines 5 mr Cs-137 Standards und der natürlichen Strahlung des Strandsandes wurden die Arbeitspunkte der beiden Meßanordnungen festgelegt. Aus den Eichkurven konnte die günstigste Lage der Diskriminatorschwelle für die Sc-46 Messung ermittelt werden. Das Diagramm Bild 5 zeigt zum Beispiel: für die vorliegenden Betriebsdaten beginnt die Rückflanke der Photolinie von $0,66 \text{ MeV}$ bei dem Diskriminatorschwellenwert von 200-300 (Kurve 2 der Spektrallinie eines Cs-137 Strahlers). Die Rückflanke des 2-Linien-Spektrums des Sc-46 (Kurve 3 u. 4) beginnt dagegen erst bei etwa 400.

Das größte Verhältnis von Zählrate des Sc-46 Sandes zur Nullrate des Seesandes liegt beim Diskriminatorschwellenwert 350, wo dann auch der Arbeitspunkt liegen sollte.

Die Meßanordnung ist hier am empfindlichsten, und mit geringen Abweichungen des Schwellenwertes besteht genügend Sicherheit, daß die $0,89 \text{ MeV}$ Linie des Sc-46 Strahlers nicht abgeschnitten wird.

Vor und nach jedem Meßeinsatz der Geräteanordnung wurde wiederum mittels des Cs-137 Strahlers und des Sc-46 Eichtellers der Arbeitspunkt kontrolliert und die Konstanz der Meßgeometrie und Zählempfindlichkeit geprüft.

Die Meßempfindlichkeit der Tauchsonde B mit dem 3''-Szintiblock war doppelt so groß wie die der Sonde A mit dem $3 \times 2,5''$ -Kristall. So lagen die Zählraten des relativ stark aktiven Eichstrahlers Sc-46 von $62,3 \mu\text{c}$ am 18.4.1963 um 1.000.000 Imp/min für die Sonde B und um 500.000 für die Sonde A.

3.3 — Ermittlung der Halbwertsdicken

Die Messung des radioaktiv markierten Sandes an der Gewässersohle mit den in diesem Verfahren verwendeten Meßsonden ist im wesentlichen eine Oberflächenmessung.

Zur Abschätzung der Erfassungstiefe der Sonden war die Abschirmung der γ -Strahlung von $0,89$ und $1,12 \text{ MeV}$ in natürlichem Seesand zu bestimmen.

Nach dem Absorptionsgesetz

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x},$$

worin I_0 = Anfangsintensität, I = Intensität von I_0 nach Durchlaufen einer Schichtdicke x mit dem Absorptionskoeffizienten μ , erhält man die in der Praxis häufiger angewendete Halbwertsdicke $D = \frac{\ln 2}{\mu}$.

Dickenmessungen wurden am trockenen und feuchten Strand sowie in einem Becken auch unter einer 40 cm hohen Wasserschicht mit dem Eichteller vorgenommen (Bild 6 und Bild 7).

Aus mehreren Messungen mit verschiedenen Sandkorngrößen ergab sich für den trockenen und feuchten Seesand eine Halbwertsdicke von 4 cm. Der prozentuale Fehler lag dabei innerhalb der 10 %-Grenze. Die Sandkorngröße betrug durchschnittlich 300μ .

Für den Sand an der Gewässersohle unter dem Einfluß der darüber stehenden Wassersäule ergaben die Messungen in dem Becken Halbwertsdicken zwischen 8,8 und 10 cm. Sie liegen damit nicht wesentlich niedriger als die des Wassers, die für γ -Strahlung von 1 MeV 10 cm beträgt.

Bei nicht zu starker Verdünnung des radioaktiv markierten Sandes kann also ein Nachweis von Aktivität bis zu einer Überlagerung von 50 cm Sand geführt werden, wobei die

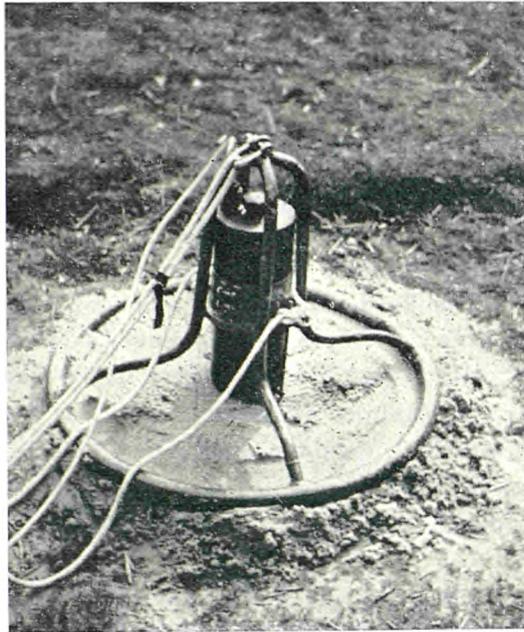


Bild 6 — Tauchsonde B
Eichmessungen mit natürlichen
Seesandproben

Fot. Böttcher



Bild 7 — Messung der Halbwertesdicke von natürlichem
Sand in Seewasser mit dem Sc-46 Eichstrahler : « Sonde A »

Fot. Böttcher

Intensität der Strahlung entsprechend der mehr als fünf Halbwertsdicken nur noch etwa $1/40$ der einer reinen Oberflächenstrahlung beträgt. Eine Mengenberechnung der Sandwanderung ist aus diesen an der Gewässersohle gemessenen Informationen allein nicht möglich.

Zusammenfassend haben die Eichmessungen ergeben :

- a) Mit $3,5 \cdot 10^{-2}$ Mikrocurie des Eichstrahlers von 1962 war mit der Meßsonde B gerade die maximale Meßempfindlichkeit erreicht worden.
- b) Die später durchgeführten Nulleffektmessungen ergaben Nullraten für den trockenen und feuchten Strand vor Westerland von durchschnittlich 1200 Imp/min.

Für den Nachweis der künstlichen Aktivität müssen also mindestens 600 Imp/min Aktivitätsrate des Sc-46 Sandes gemessen werden.

Der Eichsteller ergab für $62,3 \mu\text{c}$ 10^6 Imp/min. Das entspricht bei linearen Zählverhältnissen und jeweils konstanten Meßgerätedaten einem Wert von 16.000 Imp/min pro Mikrocurie.

Für die Erreichung der maximalen Meßempfindlichkeit, also 600 Imp/min bei einem Nulleffekt von 1200 Imp/min müssen $1 \mu\text{c} \cdot 600 / 16.000 = 0,037 \mu\text{c}$ Aktivität im Meßbereich der Sonde B vorhanden sein.

Dieser Betrag stimmt damit relativ genau mit dem vorher ermittelten Wert des Eichstellers von 1962 überein (a).

- c) Die durchschnittliche Sandkorngröße beträgt vor Westerland 300μ . 100 kg des mit 3,2 Curie Gesamtaktivität markierten Seesandes enthalten bei vereinfachten überschlägigen Rechnungen

$$3,4 \cdot 10^8 \text{ Sandkörner}$$

mit einem Gewicht von je

$$2,95 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

und einer spezifischen Aktivität von

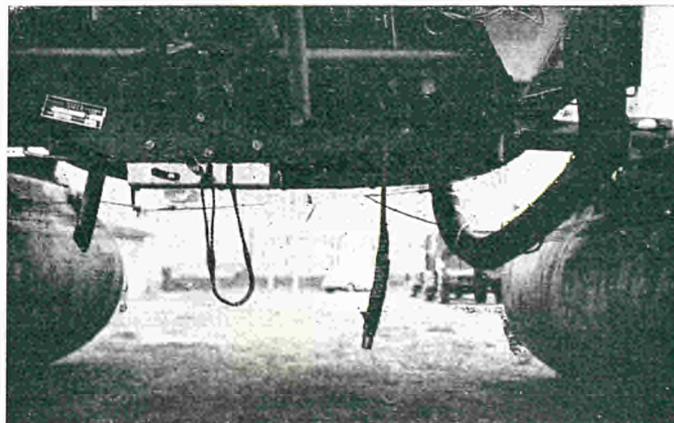
$$9,4 \cdot 10^{-3} \mu\text{c (Anfangsaktivität)}.$$

Bei den oben genannten Nullraten, den gleichen Meßgerätedaten und der errechneten spezifischen Aktivität genügen auf dem trockenen Strand 4 Körner im Meßbereich der Sonde für den Nachweis künstlicher Aktivität.

- d) Bei den eingestellten Meßgeometrien der Tauchsonden zeigte sich, daß 45 % der Bodenstrahlung bei der Sonde A und 40 % der der Sonde B vom Wasser abgeschirmt werden. Somit müßten bei Einsatz der um den Faktor zwei empfindlicheren Sonde B rund 7 (genau 6,7) mit Sc-46 radioaktiv markierte Körner im Meßbereich der Sonde liegen, um sicher registriert werden zu können.
- e) Der Verdünnungsfaktor darf damit maximal rund $5 \cdot 10^7$ groß sein. Die Sonde B hat einen Erfassungsbereich von $0,6 \text{ m}^2$ an der Oberfläche der Gewässersohle. Auch bei Vermischungen des radioaktiv markierten Sandes bis zu 4 cm (wie beim Eichsteller) könnte die gleichmäßige Flächenausbreitung

$$\text{rund } 3,0 \cdot 10^7 \text{ m}^2 = 30 \text{ km}^2$$

betragen.



Fot. Böttcher

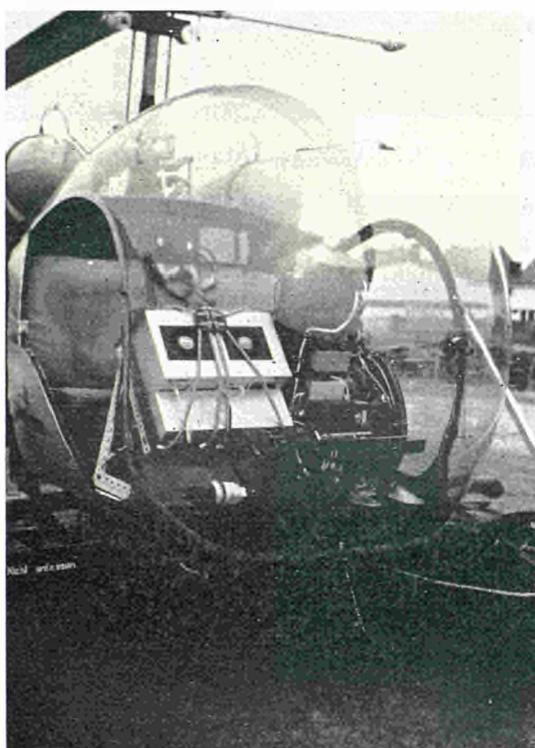
Bild 8 — Ausklinkvorrichtung für das Sondenseil und Steckverbindung für das Sondenkabel unter dem Hubschrauber, links und rechts die beiden Schwimmer

f) Die Halbwertsdicken des trockenen Strandsandes betragen 4 cm, die des Sandes an der Gewässersohle im Meerwasser durchschnittlich 9 cm.

Für alle oben ermittelten Daten ist im Verlauf der Meßperioden der Zerfall des Sc-46 mit einer Halbwertszeit von 84 Tagen zu berücksichtigen.

3.4 — Erprobung der Meßanordnung mit Hubschrauber

Nach den Funktionsuntersuchungen wurde die Gerätekombination in den Hubschrauber mit Gummiseilen elastisch und fest montiert. Wie aus Bild 9 und 10 ersichtlich, wurden die RIDL Einschübe Dekadenzählgerät Typ 49-25, Verstärker mit Diskriminator Typ 30-19 und das Netzgerät Typ 29-1 ohne das Außengehäuse vor dem rechten Sitz angebracht. Hier sind die Geräte von dem Meßingenieur übersichtlich zu bedienen. Sie können auch gegen Zweitgeräte schnell ausgewechselt werden. Der « Kaco-Wechselrichter » wurde unter dem Pilotensitz befestigt und ist auf den Bildern nicht sichtbar.



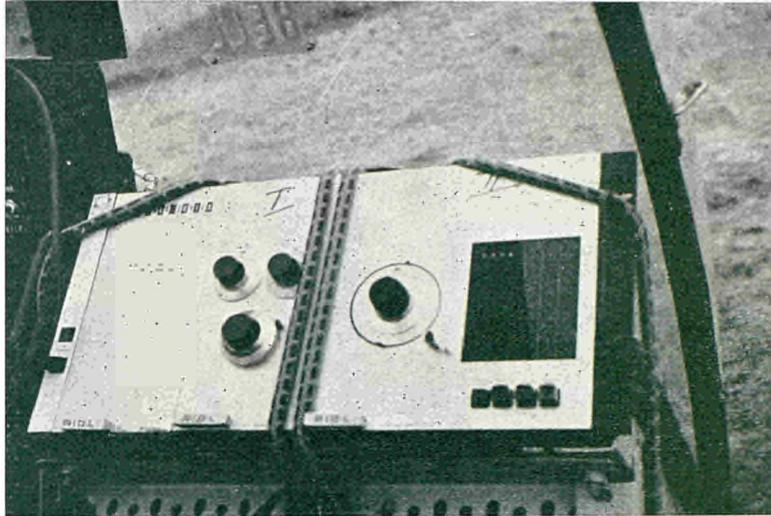
Fot. Böttcher

Bild 9 — Befestigung der Meßgeräte im Hubschrauber

Das Gewicht der Einbauteile der Firma RIDL beträgt 16 kg, das des Wechselrichters 4,6 kg. Das Gesamtgewicht der Strahlungsmeßgeräte mußte wegen der Verwendung von Schwimmern anstatt der leichteren Kufen des Hubschraubers geringer als das beim Einsatz an der Ostsee 1962 sein (Bild 8).

Die Meßsonde wird an einer Ausklinkvorrichtung unter den Hubschrauber gehängt. Das Sondenkabel muß nach den Flugsicherungsbestimmungen im Notfall schnell vom Hubschrauber zu lösen sein. Es erhielt deshalb eine gegen Spritz- und Regenwasser sichere Steckverbindung, die beim Lösen des Trageseiles aus der Ausklinkvorrichtung infolge des Zuges mitgelöst wird.

Die elektronischen Geräte arbeiteten, wie schon bei den Funktionsuntersuchungen erwähnt, einwandfrei.



Fot. Böttcher

Bild 10 — Meßgeräteeinschübe

- I Vorverstärker und Diskriminator
- II Dekadenzähler

Zur Überwachung der Zuverlässigkeit der Meßgeräteeinrichtung wurden diese vor und nach jedem Fluge nachgesehen. Das geschah bei einer Maximalflug- und -meßdauer von ca. einer Stunde bis zu 10 oder 12 mal am Tage.

Dabei wurden

- a) an einem markierten Punkt, den der Hubschrauber mit der Sonde jedesmal aufzusuchen hatte, der Nulleffekt gemessen,
- b) mit dem Cs-137 Standard die Diskriminatorschwelle kontrolliert (die merklich starke Abnahme der Impulsraten an der Rückflanke der 0,66 MeV-Photolinie (Bild 5) erleichtert die Kontrolle der Diskriminatorschwelle wesentlich),
- c) mit dem Sc-46 Eichzähler die Konstanz der Zählraten geprüft. Das Nachlassen der Hochspannung der Batterien, Beschädigungen des Kabels und Wackelkontakte in der Meßsonde konnten so ermittelt werden.

Das Nacheichen der Meßanordnung und die Kontrolle aller Gerätefunktionen hat sich besonders bewährt.

4 — ORTUNG

Auf einem Küstenstreifen von etwa 6 km Länge, davon 3 km nördlich und 3 km südlich des Einbringepunktes, wurden insgesamt 12 Meßbasen vorbereitet.

Nur 3 Meßbasen von 638 m, 468 m und 305 m brauchten für die Nulleffekt- und Aktivitätsmessungen besetzt zu werden (Bild 11).

Diese Meßstationen lagen auf der Promenade von Westerland. Nur Punkt 6 mußte am Fuße einer hohen Düne angeordnet werden. Alle Stationen waren gut und rasch zugänglich. Zwischen den Meßstationen 7-8 und 8-9 bestand keine direkte Sicht; deshalb wurde als Nullpunkt für die laufenden Messungen ein von allen Stationen gut sichtbares Hilfsziel gewählt.

Die drei Stationen verständigten sich untereinander über Funksprechgeräte (Frequenz 122,2 MHz) der Firma Becker.

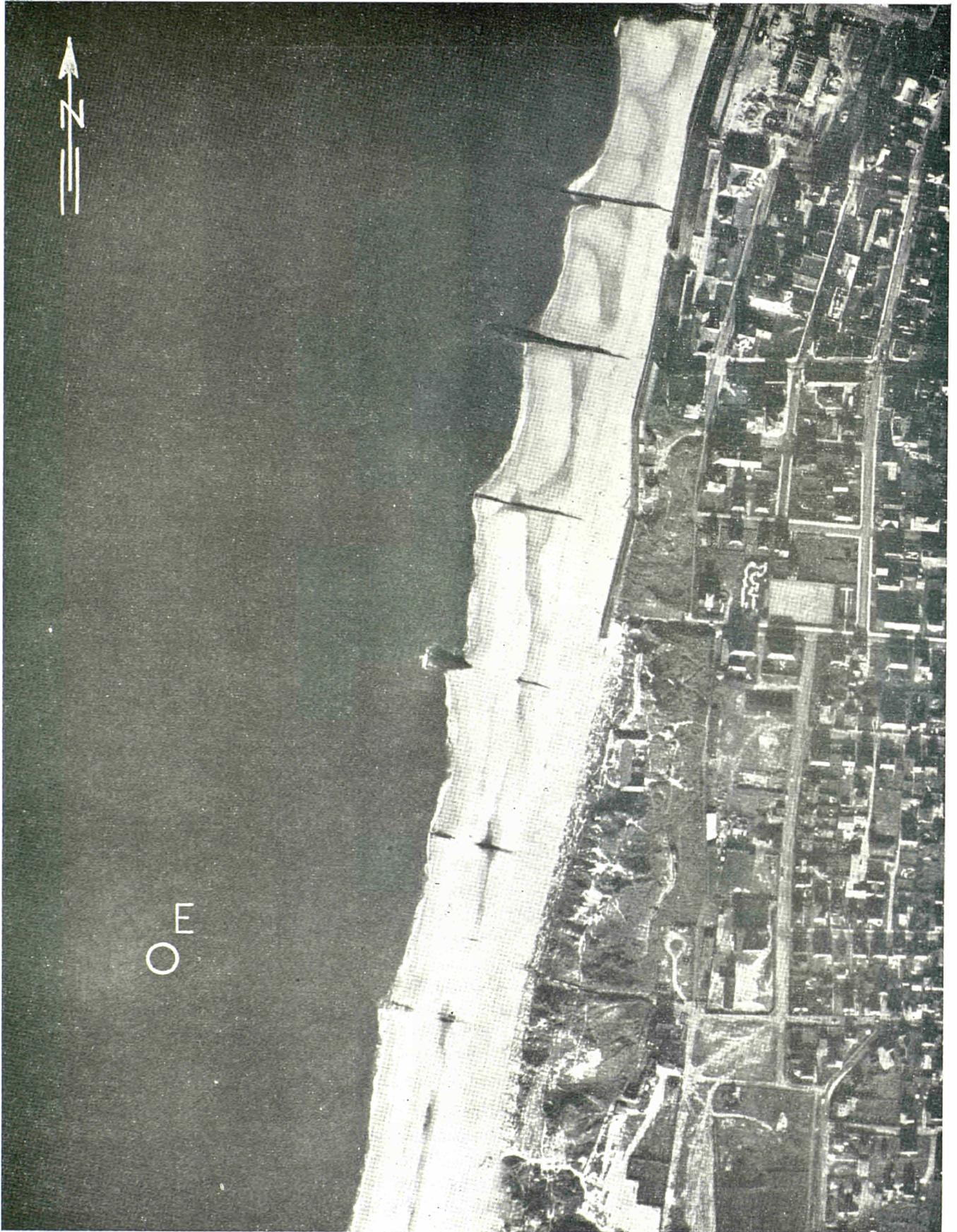


Bild 11 — Luftbildplan Westerland/Sylt

M = 1 : 5000 mit E = Einbringepunkt

Aufnahme und Bildbearbeitung : 5. Nov. 1962 Vermessungsbüro N. Rüpke Hbg.

Freigegeben durch L.A.H. 700399

Bildarchiv Landesamt für Wasserwirtschaft Schleswig-Holstein

Der Pilot stand mit dem Flugsicherungsdienst des Flugplatzes Sylt in Verbindung. Beginn und Beendigung der Meßflüge wurden jeweils durch den verantwortlichen Meßleiter auf telefonsichem Wege dem diensthabenden Flugsicherungsoffizier gemeldet.

Der Funksprechverkehr funktionierte einwandfrei. Vereinbarte optische Signale brauchten nicht angewendet zu werden.

Der Hubschrauber flog alle Meßpunkte selbständig in Profilen an. Zur leichteren Orientierung waren diese Profile durch gelbe Fahnen am Strand abgesteckt (Deckpeilung). Zwischenpunkte wurden nach Angabe des Meßingenieurs angefliegen und eingemessen. Die Zentrale teilte dem Piloten laufend über Funk die notwendigen Flughöhenangaben und die Eintauchtiefen der Sonde mit.

Damit der Meßingenieur im Hubschrauber die Lage eines Meßpunktes rasch feststellen konnte, waren für verschiedene Basislängen Entfernungsdigramme vorbereitet worden (Bild 12). Nach einem vereinbarten Stichwort konnten die Schnittwinkel von der Zentrale

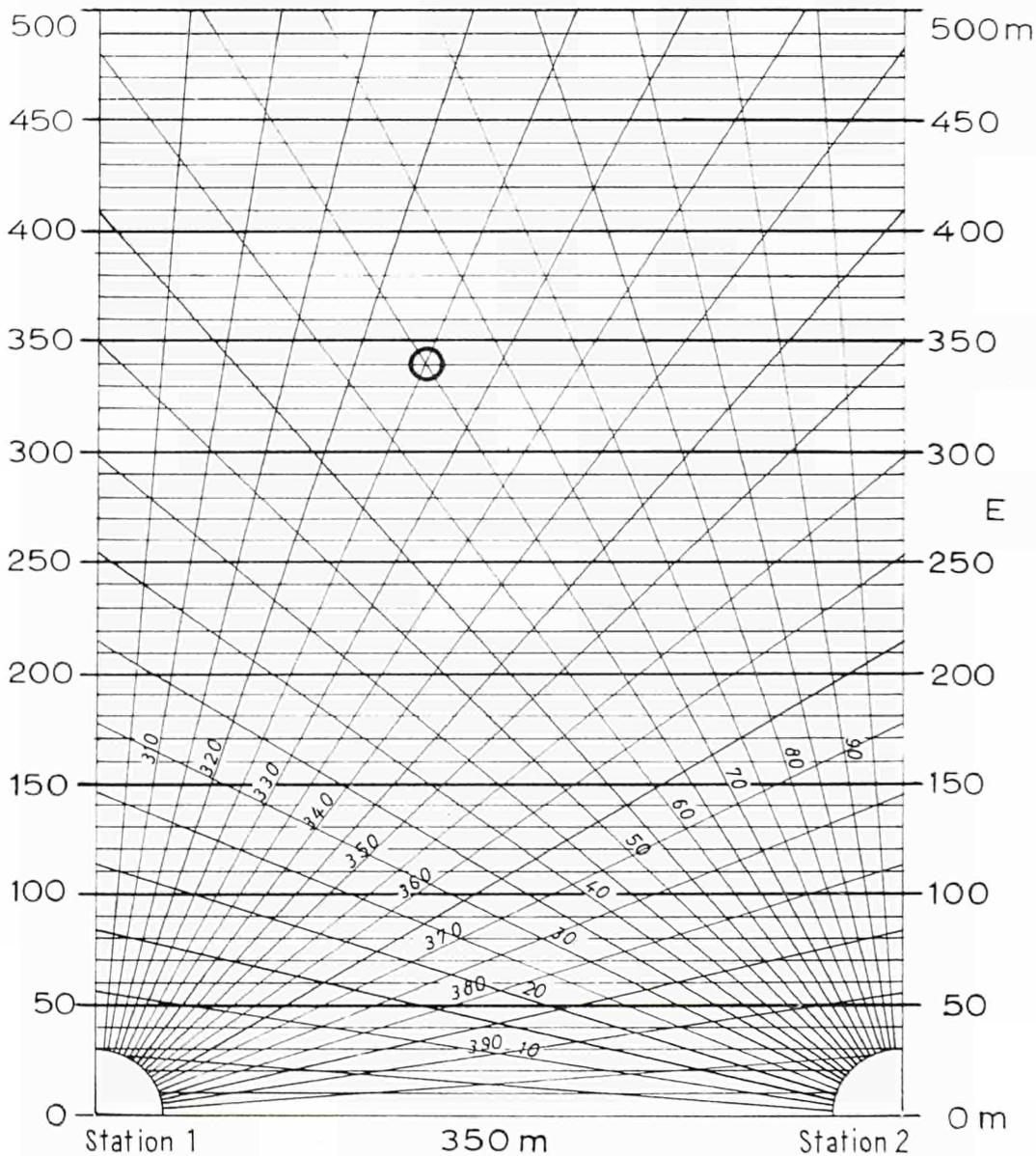


Bild 12 — Entfernungsdigramm

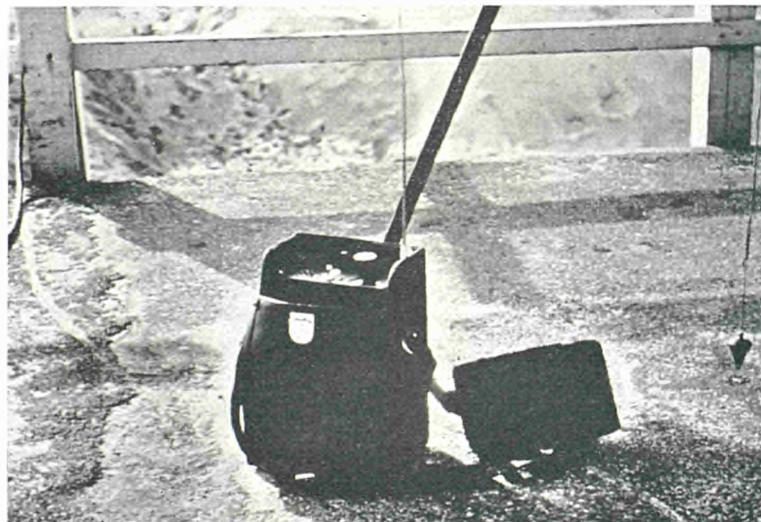
abgerufen und auf dem entsprechenden Diagramm in nur wenigen Sekunden die Entfernung dieses Meßpunktes zur Uferlinie abgelesen werden.

Die abgelesenen Aktivitätsraten wurden vom Meßingenieur im Hubschrauber aufgeschrieben. Eine Durchgabe an die «Zentrale» war nicht erforderlich. Nur die laufende Numerierung der Meßpunkte, sowie die abgestimmten Uhrzeiten wurden während der Messungen regelmäßig von der «Zentrale» aus über Funk kontrolliert (Bild 13 u. 14).



Fot. Dolezal

Bild 13 — Meßstation (Zentrale) auf der Promenade Westerland.
Im Geländewagen das fest eingebaute Funksprechgerät Becker



Fot. Dolezal

Bild 14 — Transportables Funkmeßgerät Becker im Einsatz auf der zweiten Meßstation

Der für den Piloten unentbehrliche « Fixierpunkt » war in Form einer roten Gummiboje am Trageil und Kabel befestigt und wurde somit von ihm selbst mitgeführt. Auf diese Weise entfiel das umständliche Auslegen und Einholen von Hilfsbojen.

Im Untersuchungsabschnitt II Westerland sind an 13 Meßtagen insgesamt 592 Ortsbestimmungen vorgenommen worden.

Beispiel zum umseitigen Bild 12 :

Der Meßingenieur im Hubschrauber bekommt über Funk die Winkelangaben der Meßstationen 1 und 2 mit 325 bzw. 65 Grad.

Sofort weiss der Pilot, dass er sich 340 m von der Basis bzw. 290 m von der Uferlinie entfernt befindet, wenn der Abstand Basis-Uferlinie = 50 m beträgt.

5 — DURCHFÜHRUNG DER MESSUNGEN

Zunächst wurde im Arbeitsgebiet der natürliche Strahlungspegel gemessen. Im Gezeitenbereich an der Nordsee erschien eine Untersuchung der Auswirkungen der Radioaktivität der Luft auf die Meßempfindlichkeit der Strahlungsmeßanordnung wichtig.

Am 3.4.1963 wurde mit den Nulleffektmessungen unter Einsatz von Sonde B begonnen. Im Profil vor der Kurpromenade Westerland wurden in Tiefen bis zu 6 m und bis zu 600 m vom Strand entfernt 19 Meßwerte mit natürlicher Aktivität aufgenommen. Die Werte streuen hier extrem breit zwischen 529 und 6121 Imp/min. 13 weitere Meßwerte im Einbringeprofil zeigten zwischen 1 und 6 m Tiefe Nullraten von 270 bis 507 Imp/min.

Nach Aufnahme von drei weiteren Werten in einem dritten Profil mußte die Messung infolge schnell aufkommenden Nebels abgebrochen werden. Der Nebel kam so überraschend, daß der Hubschrauber nicht mehr den nur 100 m hinter den Dünen entfernten Landeplatz erreichen konnte. Nacheichungen konnten nur grob durchgeführt werden.

Obgleich die Nulleffekt-Messungen nicht ganz befriedigten, entschieden wir uns im Hinblick auf das Wetter und auf die kostspielige Wartezeit für den 4. April als Einbringetag. Der Lastkraftwagen mit dem radioaktiv markierten Sand war pünktlich am Vortage eingetroffen.

Nach einem Übungsflug mit dem Probe-Sandbehälter wurde der markierte Sand an die durch eine leuchtende Tonne gut sichtbar gekennzeichnete Einbringestelle transportiert und dort auf der Gewässersohle ausgeschüttet [4]. Anschließend folgte das Einbringen des Luminoforensandes in zwei Flügen [5].

Bis zum 7. April waren infolge starken Windes keine Meßflüge möglich. Auch an diesem Tage herrschte noch ein Ost bis Südost mit Windstärken von 28-30 kn. Ein Messen vom fliegenden Hubschrauber oder ein Transportieren der Sonde mit dem Hubschrauber mußte auch an diesem Tage unterbleiben. Stattdessen konnten die Messungen der Nullrate am Strand und bis zu 0,8 m Wassertiefe vorgenommen werden. Die Sonde wurde ins Wasser und an die Strandmeßpunkte getragen und der Hubschrauber diente als Spannungsversorger für die an Bord befindlichen Zählgeräte. Es wurden auf diese Weise 14 Meßpunkte mit Raten zwischen 300 und 600 Imp/min gewonnen.

Am 8. April, also vier Tage nach dem Einbringen, wurden mit Sonde A Nulleffektmessungen vor allem an der Promenade mit den am 3. April stark streuenden Werten fortgesetzt und wiederholt (Die Sonde B war durch einen Kabelbruch ausgefallen). Neben 65 Aktivitätswerten konnten noch 32 Nullwerte zur Verdichtung des Nullrasters eingemessen werden. Es ergaben sich vor der Kurpromenade wiederum Flächen mit stark erhöhten Nulleffektswerten. Diese Gebiete konnten nach Eintragungen in die Tiefenpläne abgegrenzt werden, sie sind bei der Aufbereitung der Aktivitätsmessungen besonders zu berücksichtigen.

Die Ursache für die extrem hohen Werte blieben ungeklärt. Schlickproben aus dem in der Nähe befindlichen Moorbad und Proben von der Riffzone und den genannten Stellen ergaben niedrigere Werte als die des normalen Seesandes; sie bestätigten nicht die an anderen Stellen gemachten Erfahrungen [1, 6], daß Schlickgebiete erhöhte Nullraten aufweisen. Hier mögen also lokale Sonderverhältnisse vorliegen.

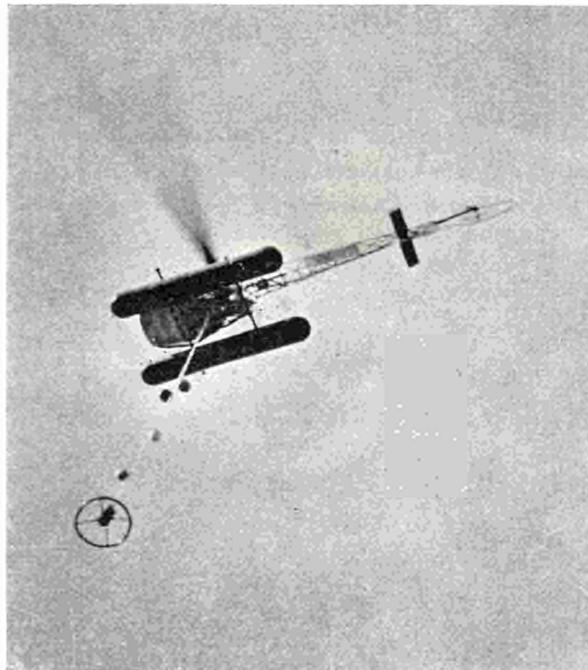
Aus den insgesamt 81 kartierten Nulleffektwerten und mehreren nicht aufgezeichneten Testmessungen ergaben sich folgende Mittelwerte :

Sonde B

Strand 1200 Imp/min — Nachweisgrenze 1800 Imp/min
bis zu 0,3 m Tiefe 1000 Imp/min — Nachweisgrenze 1500 Imp/min
0,31 bis 0,5 m Tiefe 800 Imp/min — Nachweisgrenze 1200 Imp/min
ab 0,51 m Tiefe 600 Imp/min — Nachweisgrenze 900 Imp/min

Die Werte der *Sonde A* wurden auf die der *Sonde B* umgerechnet. Die Nullraten entsprachen mit 900 Imp/min auf dem Strand und ab 0,51 m Wassertiefe mit 350 Imp/min etwa dem Faktor zwei, der für die Messung mit Sc-46 gilt.

Bei der Ermittlung der Nullwerte wurden auch die extrem hohen Raten mit verarbeitet. Die oben genannten Werte sind also als Mittel etwas zu hoch und erniedrigen die Meßempfindlichkeit der Sonde. Andererseits ist die Wahrscheinlichkeit, daß die Angaben der Werte der künstlichen Aktivität richtig sind, erhöht. Die Eingabe der hohen Gesamtaktivität von 3,2 Curie läßt diese Vereinfachung zu. Andernfalls hätten wesentlich mehr Nullwerte aufgenommen werden müssen.



Fot. Böttcher

Bild 15 — Aufhängung der Sonde B unter dem Hubschrauber

An diesem Tage wurden Nulleffektraten und Aktivitätswerte bis zu 370.000 Imp/min gemessen. Die Ausdehnung des markierten Sandes auf dem Riff betrug etwa 300 m (Bild 16).

Nach den insgesamt 97 Meßpunkten am 8. April konnte am Nachmittage auch noch mit der Entnahme der Luminoforenproben begonnen werden.

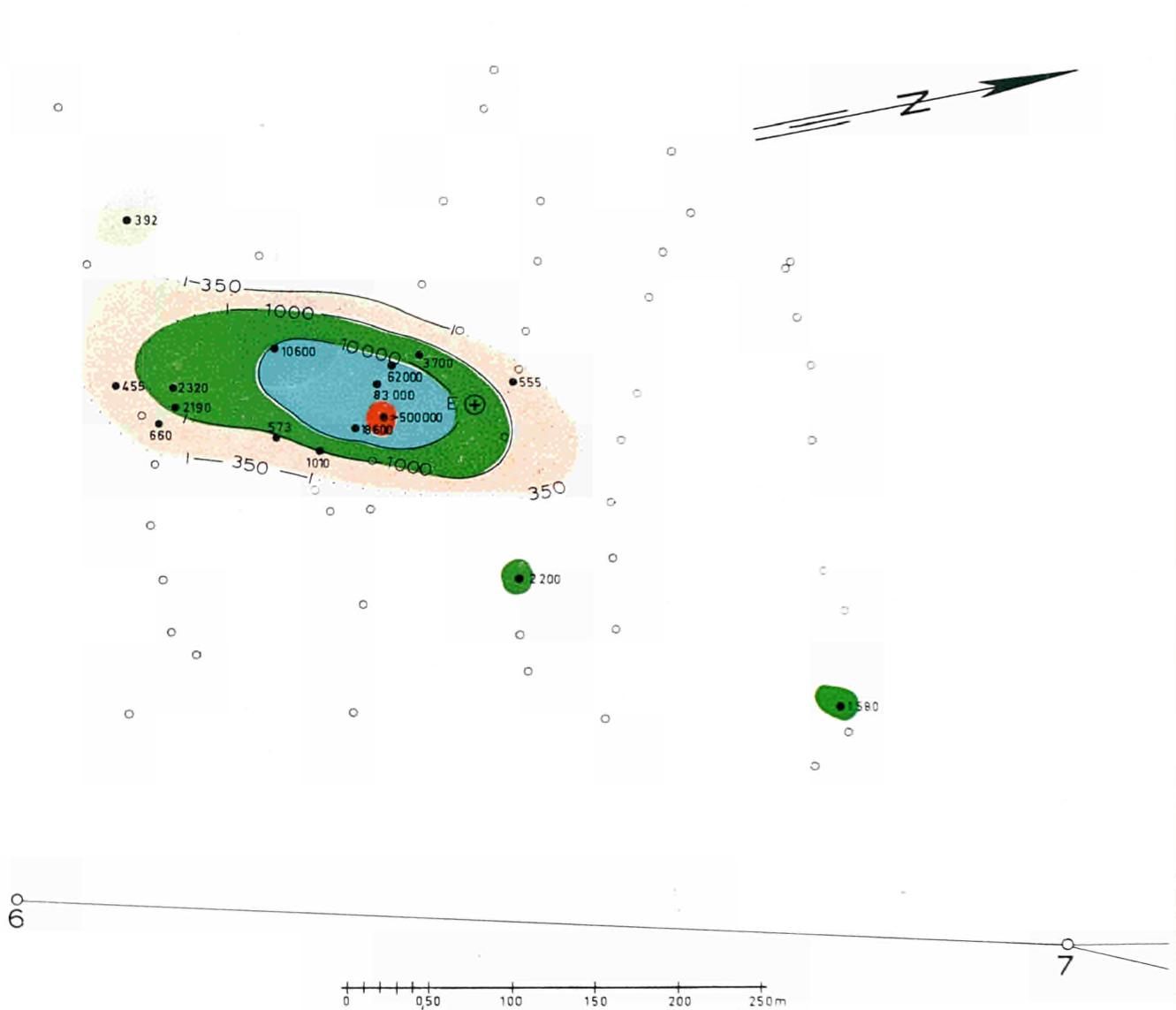
Am 17.4.1963 wurden nur 11 Meßwerte aufgenommen. Bei beiden eingesetzten Sonden riß das Koaxialkabel infolge Verdrehungen der Sonde unter dem Hubschrauber.

Die Sonden wurden noch am gleichen Tage repariert.

Am 18.4.1963 wurden mit der wieder einwandfrei arbeitenden Sonde B 84 Meßpunkte erfaßt. Aktivitäten wurden bis zu 600 m Entfernung vom Strand gefunden.

Jsolinien des radioaktiven Seesandes

Westerland / Sylt 8. April 1963



Erklärung :

- | | | | |
|-------|--|---|---------------------------|
| ● 392 | = Aktivitätsrate in Jmpulsen/min bezogen auf den Eingabetag 4.4.1963 |  | = 350 - 1000 Jmp/min |
| ○ | = Meßpunkte ohne nachgewiesene Aktivität |  | = 1000 - 10000 Jmp/min |
| — | = Jsolinien mit Aktivitätswert |  | = 10.000 - 100000 Jmp/min |
| — | = Wahrscheinlicher Verlauf der Jso-Linie |  | = > 100.000 Jmp/min |
| E ⊕ | = Einbringepunkt | | |

MThw (Abflußjahr 1963) = NN+ 0,65m

Bild 16

Jsolinien des radioaktiven Seesandes

Westerland / Sylt 18.u.23.April 1963

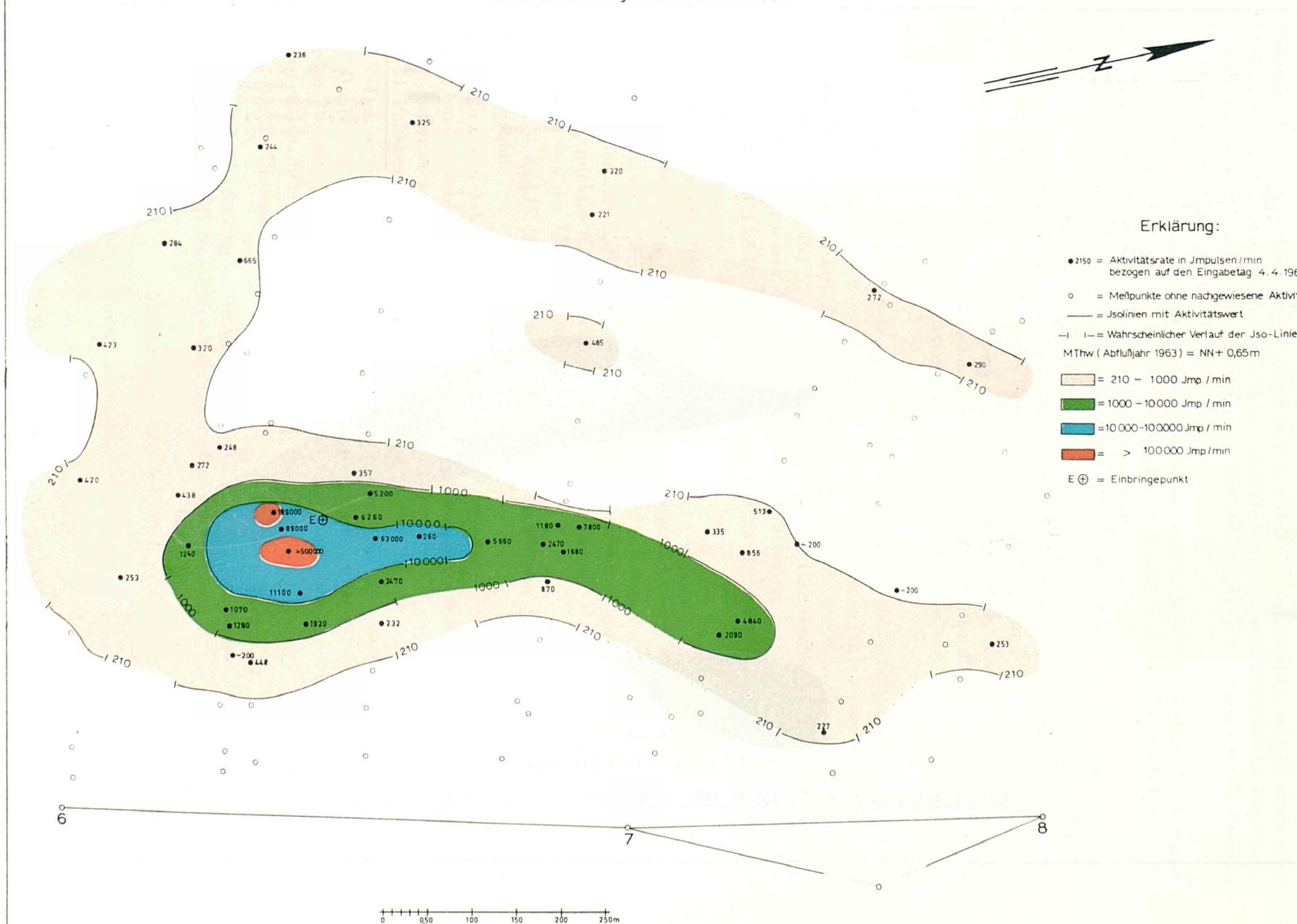
Erklärung:

- 13060 = Aktivitätsrate in Jmpulsen / min bezogen auf den Eingabetag 4.4.1963
- = Meßpunkte ohne nachgewiesene Aktivität
- = Jsolinien mit Aktivitätswert
- |—|— = Wahrscheinlicher Verlauf der Jso-Linie MThw (Abflußjahr 1963) = NN + 0,65 m
- = 500—1000 Jmp / min
- = 1000—10000 Jmp / min
- = 10000—100000 Jmp / min
- = > 100000 Jmp / min
- E ⊕ = Einbringepunkt



Bild 17

Jsolinien des radioaktiven Seesandes Westerland / Sylt 13 u. 14. Mai 1963



Erklärung:

- 2150 = Aktivitätsrate in Jmp/min bezogen auf den Eingabetag 4. 4. 1963
- = Meßpunkte ohne nachgewiesene Aktivität
- = Jsolinien mit Aktivitätswert
- |-|- = Wahrscheinlicher Verlauf der Iso-Linie MThw (Abflußjahr 1963) = NN+ 0,65m
- = 210 - 1000 Jmp / min
- = 1000 - 10000 Jmp / min
- = 10.000 - 100.000 Jmp / min
- = > 100.000 Jmp/min
- E ⊕ = Einbringepunkt

Bild 18



Isolinien des radioaktiv markierten Seesandes Westerland / Sylt 1963

4. November



Erklärung:

● = Aktivitätsrate in Jmpuls/min
bezogen auf den Eingabetag 4. 4. 1963

○ = Meßpunkte ohne nachgewiesene Aktivität

— = Isolinie mit Aktivitätswert

- - - = Wahrscheinlicher Verlauf der Iso-Linie

MThw (Abflußjahr 1963) = NN±0,65m

□ = 1760 – 5000 Jmp/min

■ = 5000 – 10000 Jmp/min

■ = >10000 Jmp/min

E⊕ = Einbringepunkt

Infolge der Verwendung von geschlagenem Seil für den Sondentransport unter dem Hubschrauber, verdrehten sich Trageseil und Koaxialkabel regelmäßig, so daß nach etwa 35 Minuten der Zug auf das Kabel so stark war, daß die Sonde wahrscheinlich infolge Impedanzänderung nicht mehr zählte. Daraufhin wurden das Seil und das Kabel nach etwa 30 Minuten jedesmal wieder ausgedreht (Bild 15).

Die Meßwerte vom 18. und 23. April wurden zusammen als Bild 17 kartiert. Die Aktivität konnte in einem Gebiet von 1,5 km Länge (bis 1,2 km nördlich und 0,3 km südlich des Einbringepunktes) und 600 m Breite nachgewiesen werden.

Am 23.4.1963 wurden insgesamt 56 Punkte künstlicher Aktivität gemessen. Der Wanderweg des Sc-46 ist gut zu verfolgen.

Am 26.4.1963 wurden mit diesen Meßgeräten Nachmessungen am Stakendorfer Strand an der Ostsee durchgeführt [2]. Beide Sonden fielen schließlich aus.

Bis zur Fortsetzung der Messungen wurden die Geräte in Kiel gründlich untersucht. Sonde A und B erhielten Dreifachaufhängung aus geflochtenem Perlonseil. Beide Sonden wurden mit 11 m 60 Ohm Koaxialkabel neu ausgerüstet, das mit Plastikschauch 8 mm überzogen wurde.

Die Sonden wurden sodann erneut auf Funktionszuverlässigkeit geprüft.

Es zeigte sich, daß Wackelkontakte an den Kabelverbindungen der Hochspannungsbatterien infolge der starken Stoßbeanspruchungen aufgetreten waren. Nach Tauchübungen auf Wasserdichtigkeit der Sonden im Kieler Hafen und Untersuchungen auf Stoßfestigkeit und Erschütterungen waren die Meßgeräte wieder einsatzfähig.

Am 13. und 14.5.1963 wurden mit Sonde B 26 und 90 Meßpunkte vor Westerland aufgenommen.

Alle Meßgeräte arbeiteten einwandfrei.

Auch diese beiden Tage wurden zusammenhängend kartiert (Bild 18).

Es wurde ein Gebiet von 800 m Breite und 1300 m Länge untersucht mit dem Ergebnis, daß ein Streifen mit Aktivitätswerten etwa 300 m von der Uferlinie entfernt in der Gegend des Einbringepunktes festgestellt werden konnte; ein anderer Streifen lag weiter seewärts bis etwa 700 m von der Uferlinie entfernt.

Am 14. und 15. Mai wurden außerdem 45 Sandproben für die Luminoforen-Untersuchung an Land geholt.

Ein halbes Jahr später (4.11.1963), als vor Kampen auf Sylt der Abschnitt III gemessen wurde, fand auch hier eine Nachmessung statt. Es konnten aus 53 Meßpunkten Werte künstlicher Aktivität auch nach einer längeren Sturmperiode [3] eindeutig festgestellt werden. Aus 31 Punkten mit Sc-46 Aktivität wurden wiederum Isolinien gezeichnet (Bild 19).

Der untersuchte Küstenstreifen erstreckt sich auf eine Länge von 3,5 km und auf eine Breite von 0,7 km. Fast im ganzen Gebiet konnte künstliche Aktivität nachgewiesen werden. Bis auf einen Abschnitt von etwa 300 m, wo nur geringe Spuren von Aktivitäten zu finden waren, blieb der Strand frei.

Im Meßabschnitt Westerland auf Sylt sind

385 A_R — Meßwerte mit künstlicher Aktivität und

81 N_R — Meßwerte mit Nulleffekt, das sind

zus. 466 Meßwerte, gewonnen worden.

Mit Backengreifern wurden außerdem insgesamt 123 Sandproben für die Luminoforenmessung genommen.

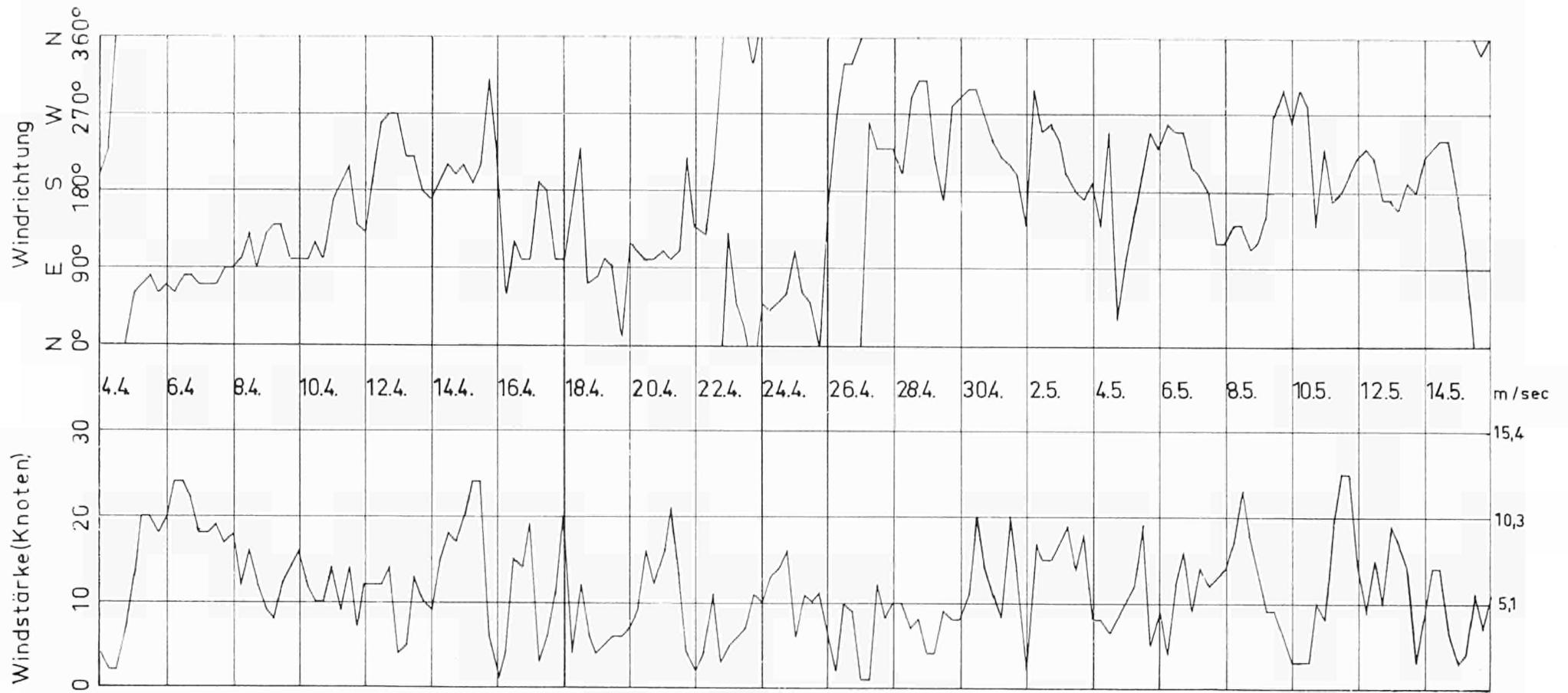


Bild 20 — Windstärke- u. - richtung in Westerland/Sylt vom 4.4.63-15.5.63

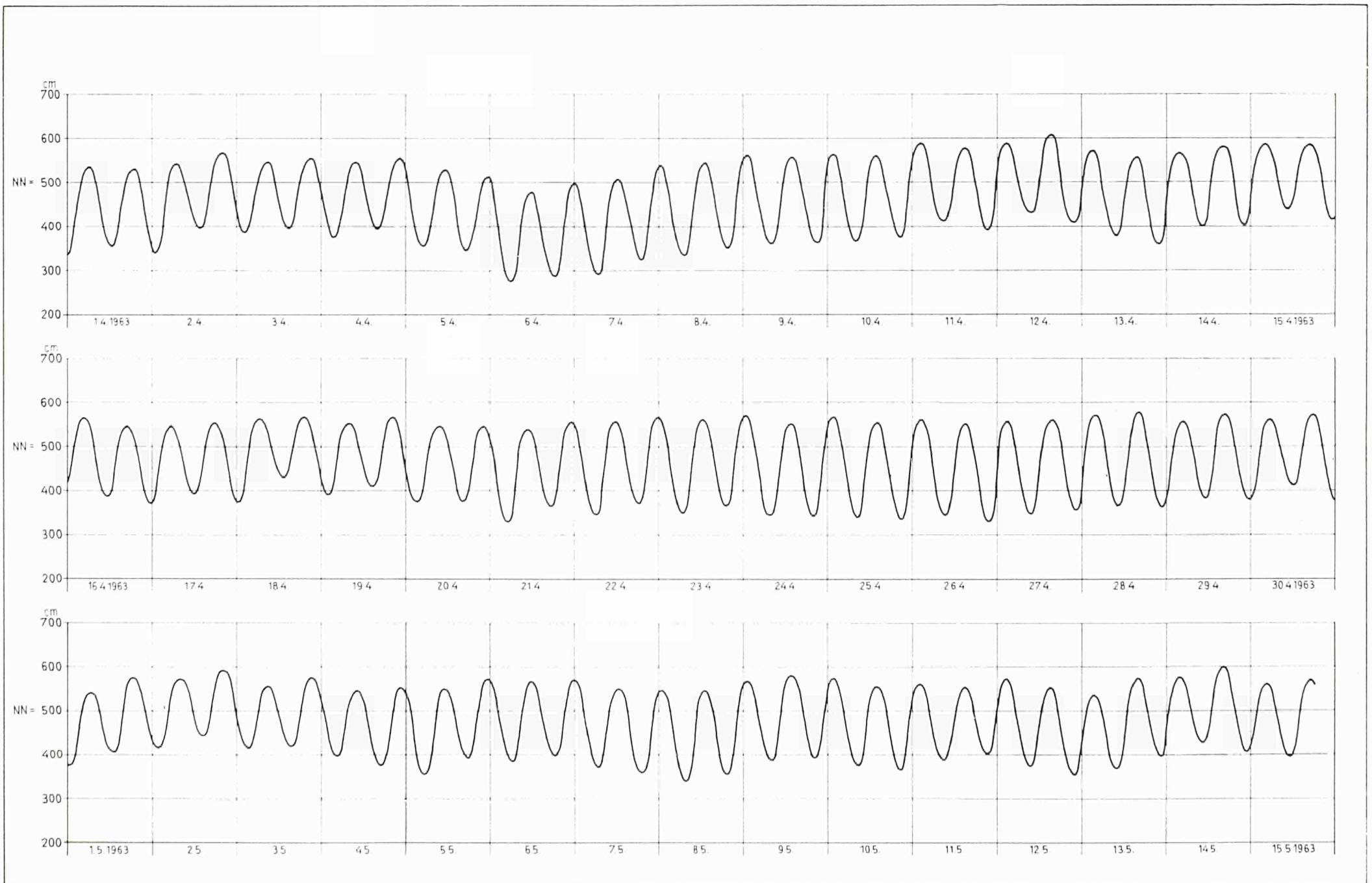


Bild 21 — Wasserstandsganglinien

Die Gesamtaktivität des 100 kg mit Sc-46 markierten Seesandes betrug am 4.4.1963 3,2 Curie, die des Eichstrahlers am gleichen Tage 70 μc (40 kg Seesand, 4 kg Zement, 2,2 g des markierten Sandes mit spez. Aktivität 320 μc pro 10 g).

Nach Formel (2) des Zerfallsgesetzes [2] ergeben sich folgende Werte für die einzelnen Meßtage und Aktivitäten :

TABELLE I

Datum	Tage	$2^{-t/T_{1/2}}$	Faktor	N(C)	$N_{\text{Eich}}(\mu\text{c})$
4.4.63	0	1,000	1,000	3,20	70,0
6.4.63	2	0,984	1,017	3,14	68,8
8.4.63	4	0,967	1,034	3,10	67,7
18.4.63	14	0,890	1,125	2,85	62,3
20.4.63	16	0,864	1,158	2,77	60,5
24.4.63	20	0,848	1,180	2,71	59,4
12.5.63	38	0,730	1,370	2,33	51,0
14.5.63	40	0,717	1,395	2,29	50,2
16.9.63	168	0,250	4,000	0,8	17,5
28.9.63	170	0,245	4,080	0,785	17,2
4.11.63	214	0,171	5,85	0,547	12,0

Beispiel für die Berechnung der Aktivitätswerte :

Am 8.4.1963 wurde vor Westerland in der Nähe der Einbringestelle der Meßpunkt 23 mit der Sonde A mit einer Zählrate von 1116 Imp/min eingemessen.

Alle ermittelten Meßwerte wurden auf die Aktivität des Einbringetages für eine geeichte Strahlungsmeßanordnung umgerechnet.

Die Aktivitätsrate ergibt sich aus der Differenz der Zählrate und der Nullrate :

$$A_R = Z_R - N_R$$

Der Nulleffekt für Sonde A in Wassertiefen über 0,5 m beträgt 350 Imp/min.

Der Umrechnungsfaktor 2 für Sonde A zu der Standard-Meßanordnung wurde mit Hilfe der Eichstrahler errechnet. Der Faktor für die Umrechnung der Aktivitätsraten auf den 4.4.1963 beträgt 1,034 für den 8.4.1963 nach Tabelle I.

Somit ergibt sich der zum Zeichnen der Isolinien verwendete Wert

$$A_{R\ 23} = (1116 - 350) \cdot 2 \cdot 1,034 = 1580 \text{ Imp/min.}$$

6 — BEWERTUNG UND FOLGERUNG

- 1) Für die Durchführung der Messungen an der Nordseeküste vor der Insel Sylt haben sich die ausführlichen Grundlagennmessungen als nützlich erwiesen.
- 2) Bei der Verwendung von zwei gegeneinander auswechselbaren Gerätesätzen für die Messungen der Radioaktivitäten, müssen Eichdaten für jedes Gerät vorhanden sein.
- 3) Der Einsatz der verschiedenen Meßkombinationen erfordert die Rückführung der Meßwerte auf ein Standardgerät. Dieses ist eine geeichte Strahlungsmeßanordnung mit bestimmtem Arbeitspunkt. Für diese Umrechnung sind entsprechende Faktoren zu ermitteln.
- 4) Vor und nach jedem Meßvorgang sind die Geräte zu prüfen. Die Beanspruchung der elektronischen Geräte als Folge der außergewöhnlichen Betriebsbedingungen ist groß.

- 5) Die in den Eichmessungen ermittelten Konstanten ermöglichen genaue Kontrollen der Arbeitsdaten der Meßsonden und Zählleinheiten und deren Funktionssicherheit.
- 6) Das Vorhalten aller Meßeinheiten in doppelter Ausfertigung ist notwendig. Es spart Zeit und damit Geld. Schnelles Auswechseln der Geräte ist möglich, Reparaturen können auf Zeiten ungünstiger Witterung verlegt werden.
- 7) Beim Einsatz der Strahlungsmeßanordnung haben sich die volltransistorisierten RIDL-Meßkombinationen bewährt. Sie fielen nur selten aus und waren auch dann noch teilweise einsatzfähig. Ein Umbau des Netzteils zum aufladbaren Akkugerät wird empfohlen. Spannungsschwankungen aus dem Hubschrauberbordnetz können als Meßfehlerquelle ausgeschaltet und die Schwierigkeiten, wie festgestellte Zählratenänderung bei Umstellung der Versorgung von Bordnetzspannung auf die des Startakkus 24 V, vermieden werden.
- 8) Beide Meßsonden fielen mehrfach aus, weil Brüche des 11 m langen Koaxialkabels zwischen Meßsonde und Hubschrauber und auch die Verbindungskabel in den Batterieeinheiten des Hochspannungsteiles auftraten. Durch die Dreifach-Aufhängung der Sonden verringerten sich die Kabelschäden wesentlich. Es dürfte vorerst kaum gelingen, die Kabelfrage voll zufriedenstellend zu lösen.
- 9) Zahlreiche Nulleffektmessungen sind bei ungleichmäßigem Untergrund durchzuführen : damit steigt die Sicherheit für die Angabe von Meßinformationen niedriger Intensität und die Empfindlichkeit der Strahlungsmeßgeräte kann infolge der geringeren Fehler bei den Nulleffektswerten erhöht werden.
- 10) Der Einfluß der Höhenstrahlung ist gering. Ab etwa fünf Halbwertsdicken des Wassers (ca. 0,5 m) wird reine Bodenstrahlung gemessen. Bei den eingestellten Betriebsdaten der Meßgeräte lag die Aktivität in 30 m Flughöhe bei etwa 250 Imp/min für beide Meßsonden und nahm zur See hin ab.
- 11) Angaben über Schichtverlagerungen, Vermischungen und Überlagerungen des radioaktiv markierten Sandes, also Aussagen über die transportierten Sandmengen, waren auch hier nicht möglich.
- 12) Die Kenntnis der technischen und organisatorischen Ausführung des Meßverfahrens von der gezeitenfreien Ostseeküste war Voraussetzung für die reibungslose Durchführung der Messungen. Der Wiedereinsatz desselben erfahrenen Arbeitsteams ersparte Startschwierigkeiten in Westerland.
- 13) Für die empfindlichen Meßgeräte, die kurzen Zeiträume der Untersuchungen und die nicht vorherzusehenden geringen Ausbreitungen des markierten Sandes von 100 kg mit 3,2 Curie, ist die Aktivität mehr als ausreichend.
- 14) Die Funkverbindung vom Hubschrauber zu den geodätischen Meßstationen ist wichtig für die Einweisung in die Meßpunkte, für Warnungen vor Hindernissen am Strand und im Wasser sowie beim Verheddern der SONDENSEILE ineinander.
- 15) Fehlmessungen können sofort wiederholt werden, wobei der Hubschrauber Winkelangaben von den beiden Stationen an Land erhält und seinen Standort selbst bestimmen kann.

SCHRIFTTUM

- 1 — M. PETERSEN — Über die Bedeutung von radioaktiv markiertem Sand für wasserwirtschaftliche Aufgaben. Studie Nr. 1 (S. 3-14 dieses Heftes).
- 2 — M. PETERSEN, B. BÖTTCHER und R. DOLEZAL — Meßbericht I, Ostsee. Studie Nr. 6 (S. 57-86 dieses Heftes).
- 3 — M. PETERSEN, B. BÖTTCHER und R. DOLEZAL — Meßbericht III, Nordsee, Kampen/Sylt. Studie Nr. 8 (S. 115-128 dieses Heftes).

- 4 — M. PETERSEN, G. SCHULZE-PILLOT und E. THOMSCHKE — Entwicklung eines Sandgefäßes, eines Abschirmbehälters und einer Traverse zum Transport von aktivem Seesand. Studie Nr. 4 (S. 27-44 dieses Heftes).
- 5 — E. SEIBOLD und K. H. NACHTIGALL — Untersuchungen der Sandwanderung mit fluoreszierenden Leitstoffen in der Brandungszone. Studie Nr. 9 (S. 129-146 dieses Heftes).
- 6 — EURATOM — Arbeitssitzung : Die Verwendung radioaktiver Indikatoren zur Bestimmung der Wanderung von festen Substanzen im Wasser. Brüssel, 2.-4. Oktober 1963.

MESSUNG DER SANDWANDERUNG IN DER BRANDUNGSZONE
MIT SCANDIUM 46

MESSBERICHT III, NORDSEE/KAMPEN AUF SYLT

von M. PETERSEN, B. BÖTTCHER und R. DOLEZAL

1 — GERÄTEEINSATZ

Zur Untersuchung der Sandwanderung vor Kampen auf der Insel Sylt wurden die schon in Westerland erprobten Strahlungsmeßgeräte eingesetzt [2].

Vor dem Einsatz in Kampen wurden alle Geräte noch einmal auf Funktionssicherheit geprüft und die Arbeitspunkte der Sonden A und B kontrolliert. Dabei wurden auch die gleichen Eichpräparate, der Eichsteller Sc-46 und der 5 mr Cs-137 Standard, verwendet. Der Sc-46 Eichstrahler hatte am 2.10.1963 eine Aktivität von 16,7 μ c.

Da in Kampen ebenfalls derselbe Hubschrauber, ein Zweisitzer der Type Bell G 2, eingesetzt wurde, ergaben sich auch keine Abweichungen in der Anordnung der Zähl- und Steuergeräte vor dem Beifligersitz.

Alle Geräte arbeiteten zuverlässig. Die Vorbereitungszeit für den Meßeinsatz des gesamten Teams in Kampen dauerte nur noch etwa einen Tag.

2 — DURCHFÜHRUNG DER MESSUNGEN (Bild 1 u. 2)

In der Brandungszone vor Kampen und auf dem trockenen Strand wurden wiederum Nulleffektmessungen durchgeführt. Obwohl die natürliche Strahlung der Gewässersohle vor Westerland gemessen worden war, mußte auch dieses Gebiet sorgfältig untersucht werden. Erstens konnte radioaktiv markierter Sand von der nur etwa 10 km entfernt gelegenen Einbringestelle vor Westerland (Einbringetag 4.4.1963) nach Kampen gewandert sein, zweitens kann immer und an jeder Stelle der Gewässersohle durch Verunreinigungen Radioaktivität abgelagert werden.

Am 21.9.1963 wurde mit den Nulleffektmessungen (43 Meßpunkte) vor der Steilküste begonnen.

Die Meßwerte, aufgenommen mit Sonde B, lagen zwischen 300 und 1200 Imp/min. Der Mittelwert der Nullraten im Wasser wurde bei etwa 500 Imp/min festgestellt. Die Werte höherer Aktivität überwogen im Süden des Untersuchungsgebietes.

Das gleiche Bild ergab sich etwa am 23.9.1963, als mit der Sonde B 39 Nulleffektwerte ermittelt wurden. Für das gesamte Meßgebiet befinden sich 90 % der Nullratenwerte unter 600 Imp/min. Da sich auch hier wieder Abweichungen bis zu 100 % von diesem Wert gezeigt haben, die nicht in genau einzugrenzende Gebiete einzuordnen waren, wurden die gleichen hohen Nullraten wie vor Westerland festgelegt :

<i>Sonde B</i>	N_R am Strand	1200 Imp/min
	ab 0,5 m Wassertiefe	600 Imp/min
<i>Sonde A</i>	N_R am Strand	900 Imp/min
	ab 0,5 m Wassertiefe	350 Imp/min.

Als Nachweisgrenze für Strahlung künstlicher Aktivität wurde wiederum mit 50 % über den Nullraten gerechnet, also betrug sie für Sonde B am Strand 1800 Imp/min.

Das Fliegen des Hubschraubers an der Steilküste wurde durch Abwinde sehr erschwert. Bis zum 2.10.1963, also acht Tage lang, war wegen der Sturmweatherlage weder ein Nulleffekt-messen noch ein Einbringen des radioaktiv markierten Sandes möglich (Bild 9).

Erst am 2.10.1963 flaute der Wind auf Südwest bis Südsüdwest 5-7 m/sec ab.

Nach diesen Weststürmen der letzten Tage konnte eine Verunreinigung des Kampener Gebietes durch den in Westerland eingebrachten radioaktiv markierten Sand eingetreten sein. Die Restaktivität betrug nach den 170 Tagen noch 0,785 Curie, war also ausreichend stark genug, um etwa ein Gebiet von 8 km² meßbar radioaktiv zu beeinflussen.

Kurz vor dem Einbringen wurden darum einige Punkte des Untersuchungsgebietes noch einmal testmäßig auf Nulleffekt untersucht.

Alle Meßpunkte zeigten Werte, die denen der vorerwähnten Nulleffektmessungen (bei Berücksichtigung der Fehlergrenzen) entsprachen.

Der am 24.9.1963, 19⁰⁰, in Frankfurt abgegangene radioaktiv markierte Sand traf — ohne Zwischenfall — am 25.9.1963, 13⁰⁰ in Westerland (Sylt) ein. Fahrer und Begleiter waren mit Filmplaketten und Ablesedosimetern ausgerüstet; sie haben während der Fahrt keine messbare Strahlendosis aufgenommen.

Die für den Nachmittag des 25.9.1963 vorgesehene Eingabe des radioaktiven Sandes konnte aber wegen zu starken Wellenganges nicht stattfinden.

Da sich die Wetterverhältnisse am nächsten Tag (26.9.1963) noch ungünstiger entwickelten, wurde der Bleibehälter mit dem Sandpräparat auf den Anhänger eines örtlichen Fuhrunternehmers unter Verwendung eines schweren Kranwagens umgeladen, damit der LKW wieder nach Frankfurt zurückfahren konnte.

Für den 28.9.1963 bestand Aussicht auf eine Wetterbesserung. Der für die ordnungsgemäße Übergabe des Präparates verantwortliche Chemiker blieb deshalb auf Sylt. Er reiste erst ab, als auch für die nächsten Tage keine Wetterberuhigung zu erkennen war. Der Einbringetermin mußte auf einen günstigeren Zeitpunkt verschoben werden.

Die Vertreter der Genehmigungs- und der Aufsichtsbehörde genehmigten nach der notwendig gewordenen Terminänderung, daß der radioaktive Sand bei schnell eintretender Besserung der Wetterlage auch in ihrer Abwesenheit eingebracht werden dürfe.

Der Chemiker erhielt bereits am 30.9.1963 die telefonische Mitteilung, er möge sich am 1.10.1963 wieder auf Sylt einfinden, da günstigere Witterungsbedingungen — allerdings nur für kurze Zeit — für die Aktion zu erwarten seien.

In einer Sturmpause konnte der markierte Sand schließlich am 2. Oktober 1963 eingebracht werden (Bild 3).

Nach einem Testflug und der Entleerung des Probesandgefäßes mit 100 kg normalen Sandes wurden um 12²⁴ Uhr die ersten 100 kg Luminoforensand auf dem Riff abgelegt; die zweite Eingabe mit nochmals 100 kg folgte um 13⁰⁰ Uhr. Beide Mengen waren gelb markiert (über die Luminoforen-Methode wird in [3] berichtet).

Der mit Sc-46 radioaktiv markierte Seesand (3,0 Curie) wurde um 13²⁷ Uhr nach dem erprobten Verfahren an der mit einer Boje markierten Stelle in der Brandungszone eingebracht. Der Hubschrauber überflog weder Häuser noch Personen, die Flugzone zur See war abgesichert und wurde überwacht.

Der Hubschrauberpilot stand mit drei Funkbodenstationen in Sichtweite in Verbindung und wurde von der Zentralstelle angewiesen.

Nach dem Einbringen und nach fünfmaligen Spülen in der See mittels Hubschrauber, wurde der Eimer auf Restaktivität überprüft.

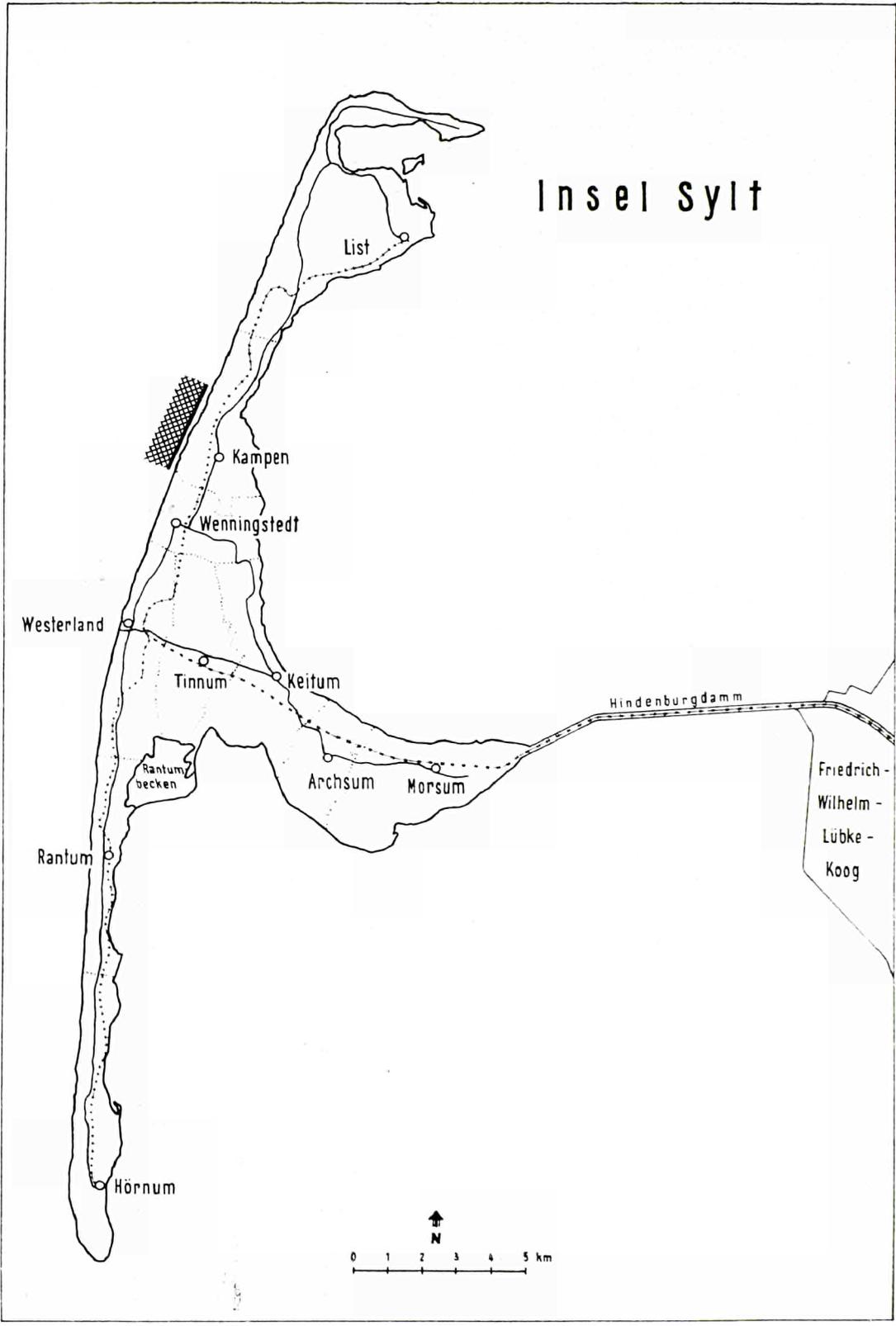


Bild 1

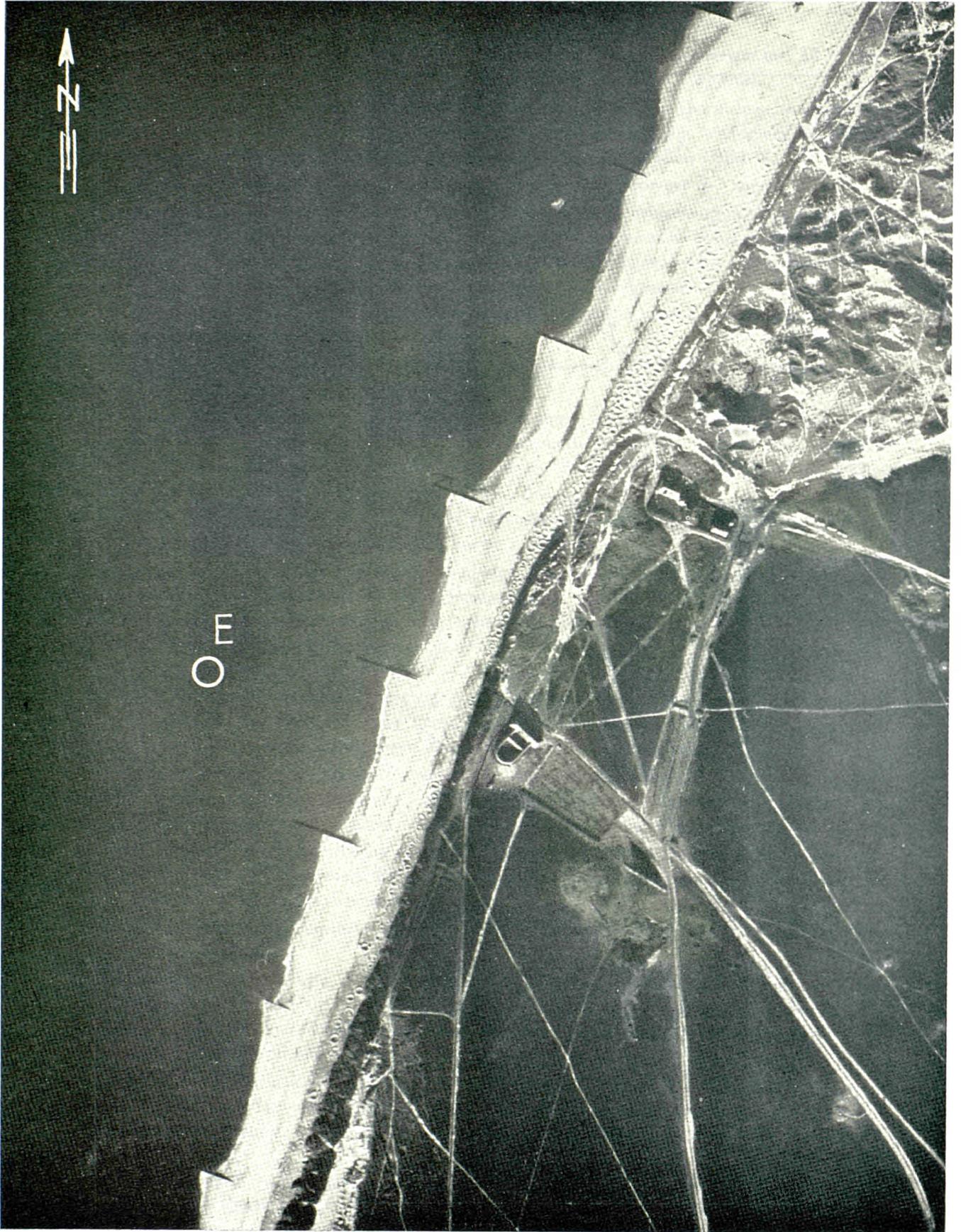


Bild 2 — Luftbildplan Kampen/Sylt
M = 1 : 5000 mit E = Einbringepunkt

Aufnahme und Bildbearbeitung : 5. Nov. 1962 Vermessungsbüro N. Rüpke Hbg.
Freigegeben durch L.A.H. 700399
Bildarchiv Landesamt für Wasserwirtschaft Schleswig-Holstein

Folgende Werte an *Restaktivität* wurden gemessen :

Seile und Verschuß	— Nulleffekt
Deckel und Rand, innen	— 7 mr/h
Deckel und Rand, außen	— 5 mr/h
Füllstutzen (Stopfen), innen	— 50 mr/h
Füllstutzen (Stopfen), außen	— 30 mr/h
Überdruckventil, innen	— 25 mr/h
Überdruckventil, außen	— 20 mr/h
Wände, Boden und Dichtungen des Sandgefäßes innen und außen	— 5 mr/h.

Das Sandgefäß wurde in den Transportbleibehälter eingeschlossen und bildete somit keine Gefahrenquelle mehr.

Alle Werte wurden mit einem EGM 1010 L, 212172 mit einem Meßbereich von 0,1 bis 200 mr/h aufgenommen.

Für die Ortung aller Meßpunkte wurden 3 Basen von 520 m, 488 m und 484 m Länge am Roten-Kliff vor Kampen vorbereitet (Bild 4).

Die Basen mußten wegen der Ausbreitung des radioaktiven Materials sowohl nach Süden um 428 m, als auch nach Norden um 1983 m erweitert werden. Hierbei hat sich der Einsatz eines geländegängigen Wagens (Jeep), der am Strand fahren konnte, bewährt. Während der Hubschrauber aufgetankt wurde, konnten das Bedienungspersonal der Meßstationen rasch befördert und die notwendigen neuen Basen aufgebaut werden.

Durch die schon vor Westerland eingesetzte Funksprechanlage wurde dann der Hubschrauber in das neue Meßgebiet abgerufen und eingewiesen.

Die Stationspunkte 1 und 3 wurden als Zentralpunkte mit feldmäßig verlegten Post-Fernsprechanschlüssen ausgestattet, da die Meßbasen z.T. in der Schlechtwettereinflugschneise des Fliegerhorstes lagen und eine direkte Telefonverbindung vom Sicherheitsoffizier der Flugleitung zur Meßleitung am Strand gefordert wurde (Bild 5).



Fot. Dolezal

Bild 5 — Meßstation (Zentrale) am Roten Kliff Kampen, mit Theodoliten, Funksprechgerät Becker und Fernsprechanschluß

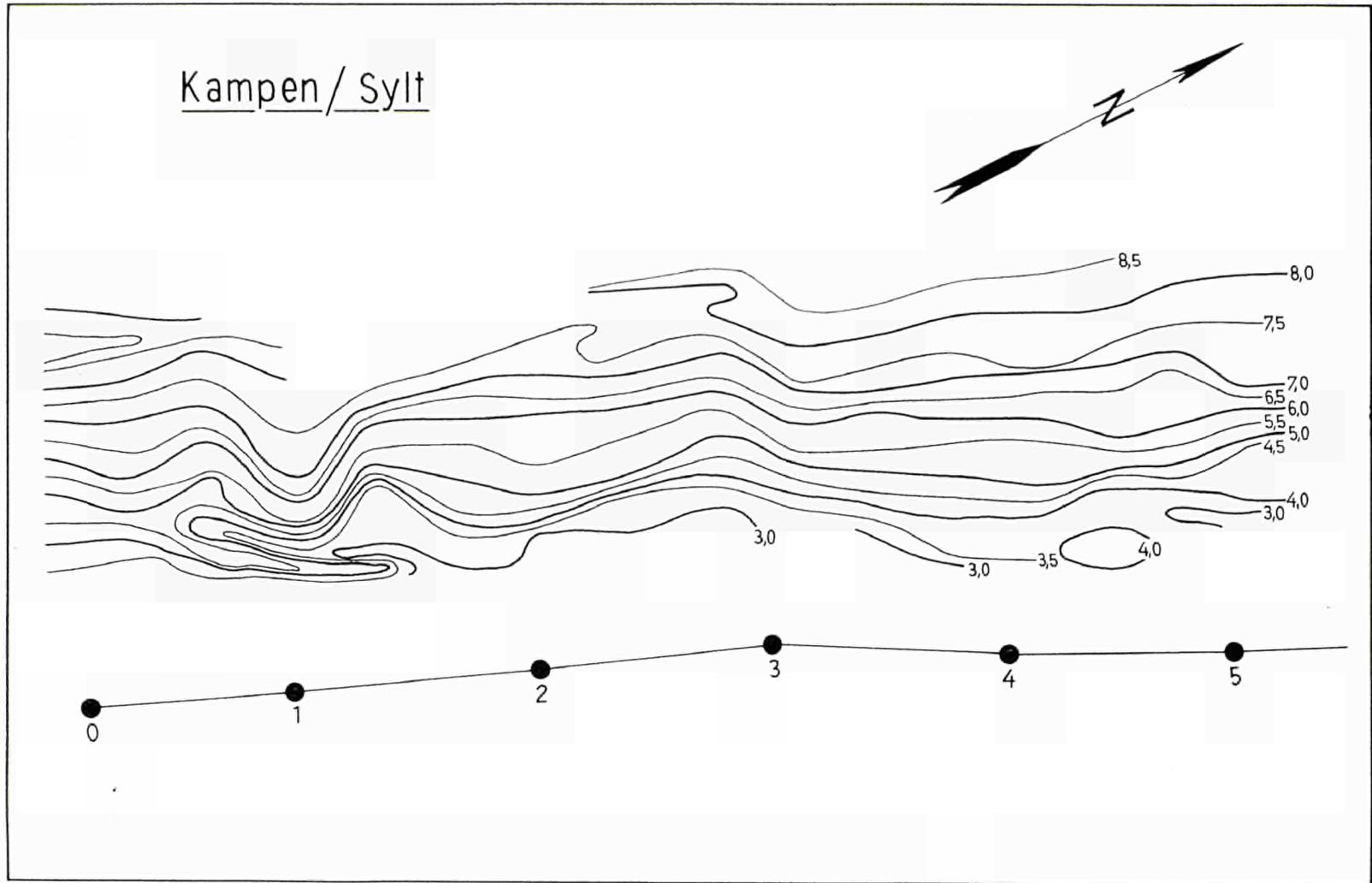


Bild 3 — Tiefenplan (Nach Lotungen am 18. u. 20.9.1963)

Profile
21.9.1963

Profile
23.9.1963

Nulleffekt - Messung Kampen / Sylt 1963



1

2

3

4

5

6

7



1. Zentrale

2

3. Zentrale

4

Bild 4

Diese zusätzliche Einrichtung war bei der im allgemeinen ungünstigen Wetterlage für die Sicherheit des Hubschraubereinsatzes unbedingt notwendig.

Im Untersuchungsabschnitt III Kampen sind an 10 Meßtagen insgesamt 435 Meßpunkte — davon 88 Luminophorensand-Proben — der Lage nach bestimmt worden.

Am 4.10.1963 wurde mit den Aktivitätsmessungen begonnen.

Das Wetter (Bild 9) ließ allerdings nur die Aufnahmen von 6 Meßpunkten zu, dann mußte die Messung wegen des wieder anschwellenden Sturmes nochmals unterbrochen und verschoben werden. Fünf Punkte waren 320 m nördlich des Einbringepunktes erfaßt worden; sie ergaben keinen Nachweis künstlicher Strahlung. In der Nähe des Einbringepunktes ergab sich eine Zählrate von 130.000 Imp/min. Der radioaktiv markierte Sand war also noch nicht gewandert.

Am 5.10.1963 wurde wieder eine Flugprobe mit den Meßgeräten unternommen. Sieben im Süden des Einbringepunktes aufgenommene Meßwerte zeigten nur Nulleffekt an. Die Gesamtmenge des eingebrachten Sandes befand sich also noch unter Kontrolle.

Der Strand wurde außerdem zweimal täglich mit einem Radimeter (Dosisleistungsmeßgerät) auf Anlagerung von Radioaktivität untersucht.

Am 7.10.1963 konnten endlich genauere Messungen durchgeführt werden. Von den 108 in einem Küstenstreifen von 1,2 km Ausdehnung und 600 m Breite aufgenommenen Meßwerten, zeigten allerdings nur 9 absolut sicheren Nachweis künstlicher Aktivität (Bild 6).

In der Nähe der Steilküste war die Aufnahme von Strandpunkten wegen ungünstig verwirbelter Winde nicht immer durchzuführen.

Am 8.10.1963 wurden 11 Punkte gemessen, davon einer am Einbringepunkt mit einer Aktivität von 348.000 Imp/min.

Erst *am 2.11.1963*, nach drei Wochen sturmbedingter Pause, konnten die Aktivitätsmessungen vor Kampen fortgesetzt werden. Von 80 Punktmessungen ergaben 47 Werte mit künstlicher Aktivität. Die untersuchte Brandungszone war 1,6 km lang und reichte bis zu einer Entfernung von 600 m von der Uferlinie scwärts (Bild 7).

Am 3.11.1963 wurden 44 Meßpunkte erfaßt, von denen 25 wiederum den Nachweis von Sc-46 Sand ergaben.

Mit den insgesamt 124 Punkten dieser beiden Meßtage konnte das Ausdehnungsgebiet des mit Sc-46 radioaktiv markierten Sandes eingegrenzt werden.

Einen Monat nach dem Einbringen und nach schweren Weststürmen hatte sich der mit unseren Geräten meßbare Sand etwa 2,0 km nach Norden und 600 m nach Süden parallel zum Strand ausgebreitet. Die Wanderzone war etwa 700 m breit; auf dem Strand wurden nur geringe Spuren künstlicher Aktivität gefunden (Bild 8).

Wie auch vor Westerland darf für die Strahlungsmeßanordnung mit Sonde B ein maximaler Verdünnungsfaktor von ca. $5 \cdot 10^7$ angenommen werden, d.h., dann ist der Sc-46 Sand gerade noch meßbar. Die gleichmäßige Flächenausdehnung wurde nach den Eichmessungen auf 30 km² geschätzt. Auch bei Berücksichtigung der Halbwertszeit von 84 Tagen und einer angenommenen Überlagerung des Sc-46 Sandes, war an den letzten Meßtagen noch nicht ein Zehntel (2,6 km × 0,7 km = rd. 2 km²) der überschlägig errechneten höchst zulässigen Ausbreitung erreicht worden.

Die Gesamtaktivität des am 2.10.1963 eingebrachten Secsand des betrug 3,0 Curie, die des Eichstrahlers vom 4.4.1963 (mit 70 µc) nur noch 16,7 µc.

Es ergaben sich nach dem Zerfallsgesetz [1] folgende Werte für die einzelnen Meßtage und Aktivitäten :

Datum	Tage	$2^{-t/T_{1/2}}$	Umrechnungs- faktor $2^{-t/T_{1/2}}$	(N) Curie	N_{Eich} in μc
2.10.63	0	1,000	1,000	3,00	16,7
4.10.63	2	0,984	1,017	2,95	16,5
5.10.63	3	0,975	1,025	2,93	16,3
7.10.63	5	0,958	1,043	2,87	16,0
8.10.63	6	0,950	1,050	2,86	15,9
2.11.63	31	0,781	1,280	2,35	13,1
3.11.63	32	0,760	1,320	2,28	12,6

3 — ZUSAMMENFASSUNG

- 1) Der Abschnitt III des Untersuchungsprogramms hat eine echte Bewährungsprobe für die Radioaktiv-Methode gebracht, weil während der Messungen eine Sturmweatherlage von rund 20 Tagen über die Nordsee und über den Weststrand der Insel Sylt hinwegzog.
- 2) Einen Monat nach dem Einbringen des radioaktiv markierten Sandes konnte dieser auf einer Breite von etwa 700 m in einer Längerstreckung von etwa 2000 m nach Norden und etwa 600 m nach Süden mit der stärksten Konzentration an der Einbringestelle gemessen werden.

SCHRIFTTUM

- 1 — M. PETERSEN, B. BÖTTCHER und R. DOLEZAL — Messung der Sandwanderung in der Brandungszone mit Scandium-46. — Meßbericht I, Ostsee. Studie Nr. 6 (S. 3-14 dieses Heftes).
- 2 — M. PETERSEN, B. BÖTTCHER und R. DOLEZAL — Messung der Sandwanderung in der Brandungszone mit Scandium-46. Meßbericht II, Nordsee/Westerland auf Sylt. Studie Nr. 7 (S. 87-114 dieses Heftes).
- 3 — E. SEIBOLD und K. H. NACHTIGALL — Untersuchungen der Sandwanderung mit fluoreszierenden Leitstoffen in der Brandungszone. Studie Nr. 9 (S. 129-146 dieses Heftes).

Jsolinien des radioaktiven Seesandes Kampen/Sylt 7. Oktober 1963

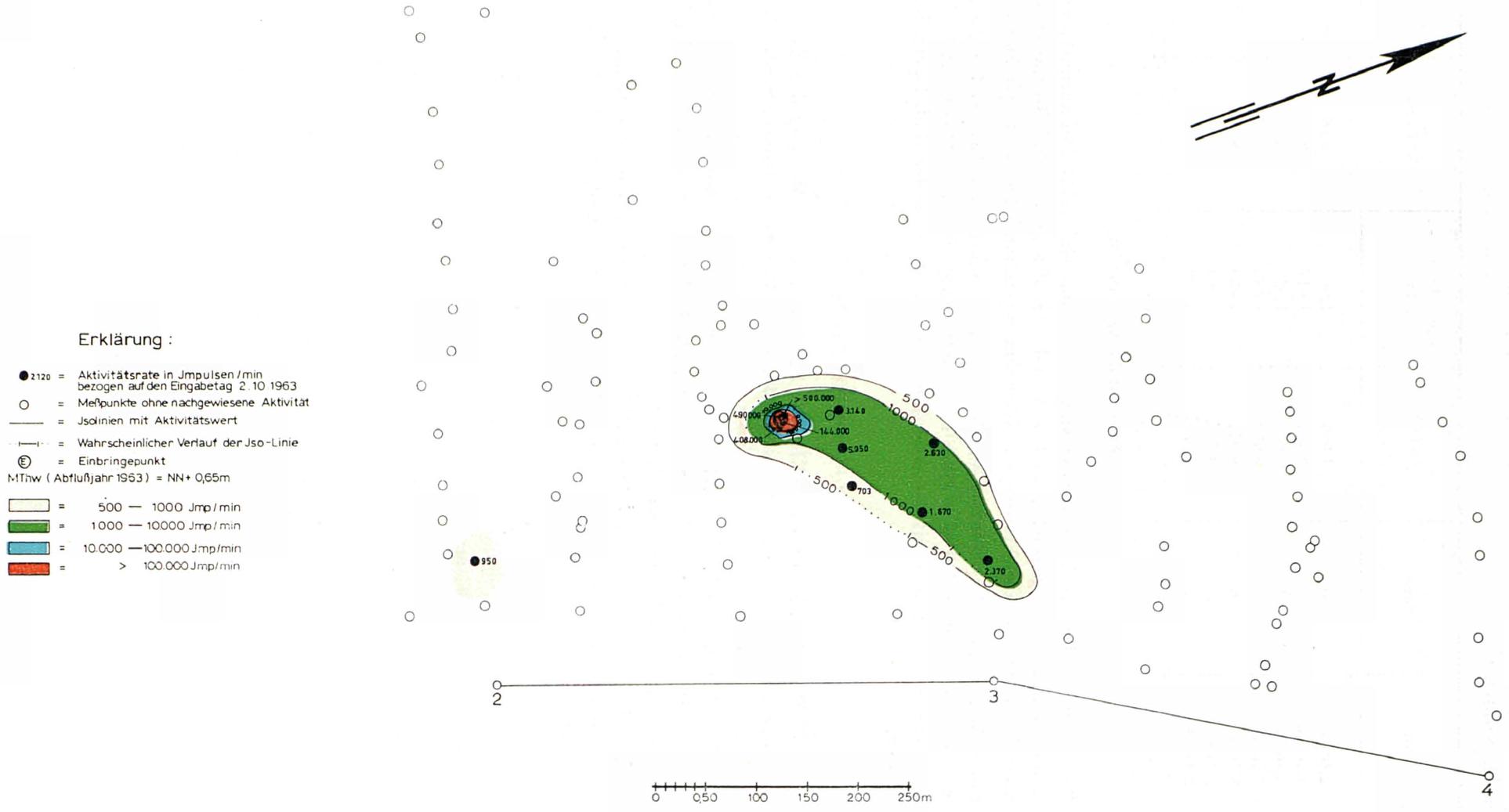


Bild 6

Erklärung:

- 1310 = Aktivitätsrate in Jmpulsen / min bezogen auf den Eingabetag 2.10.1963
- = Meßpunkte ohne nachgewiesene Aktivität
- = Jsolinien mit Aktivitätswert
- = Wahrscheinlicher Verlauf der Jso-Linie
- E ⊕ = Einbringepunkt
- = 330 — 1000 Jmp / min
- = 1000 — 10000 Jmp / min
- = > 10000 Jmp / min
- MThw (Abflußjahr 1963) = NN + 0,65 m

Jsolinien des radioaktiven Seesandes Kampen / Sylt 2. November 1963

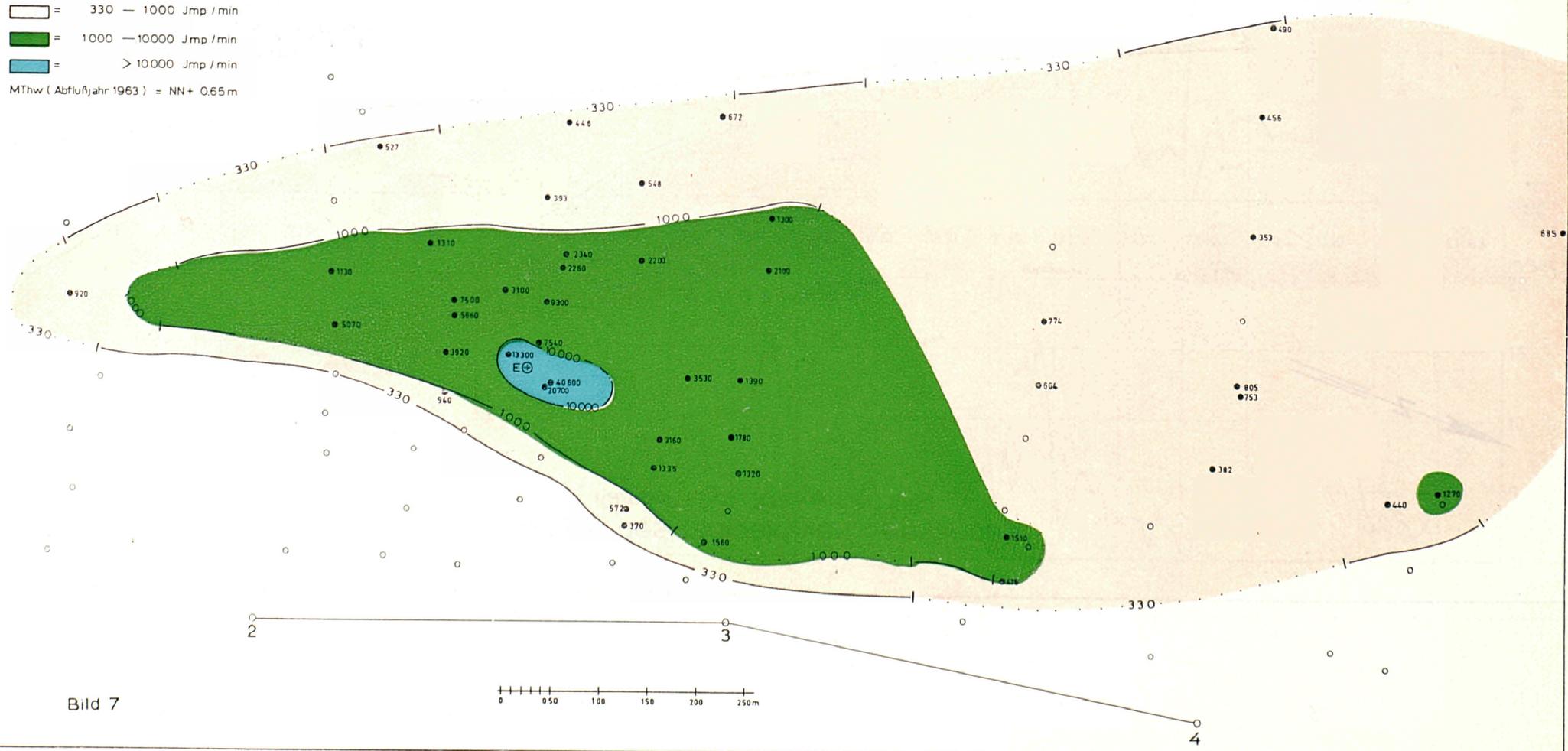
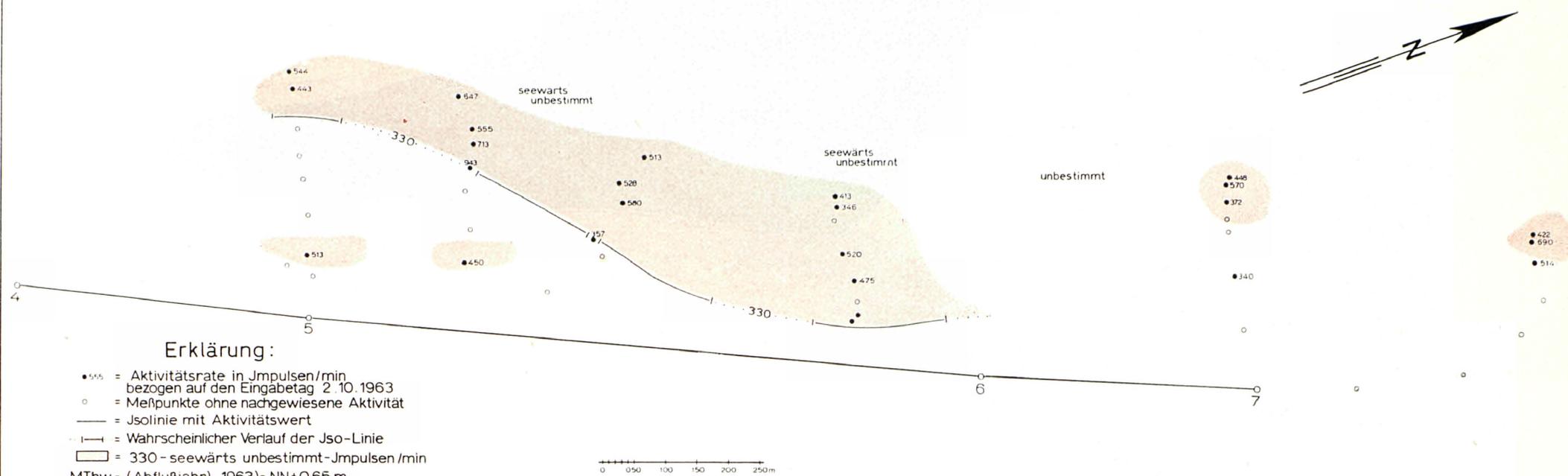


Bild 7

0 50 100 150 200 250m

Isolinien des radioaktiven Seesandes Kampen / Sylt 3. November 1963



Erklärung:

- 555 = Aktivitätsrate in Impulsen/min bezogen auf den Eingabetag 2.10.1963
 - = Meßpunkte ohne nachgewiesene Aktivität
 - = IsoLinie mit Aktivitätswert
 - - - = Wahrscheinlicher Verlauf der Iso-Linie
 - = 330 - seewärts unbestimmt - Impulsen/min
- MThw = (Abflußjahr) 1963 = NN + 0,65 m

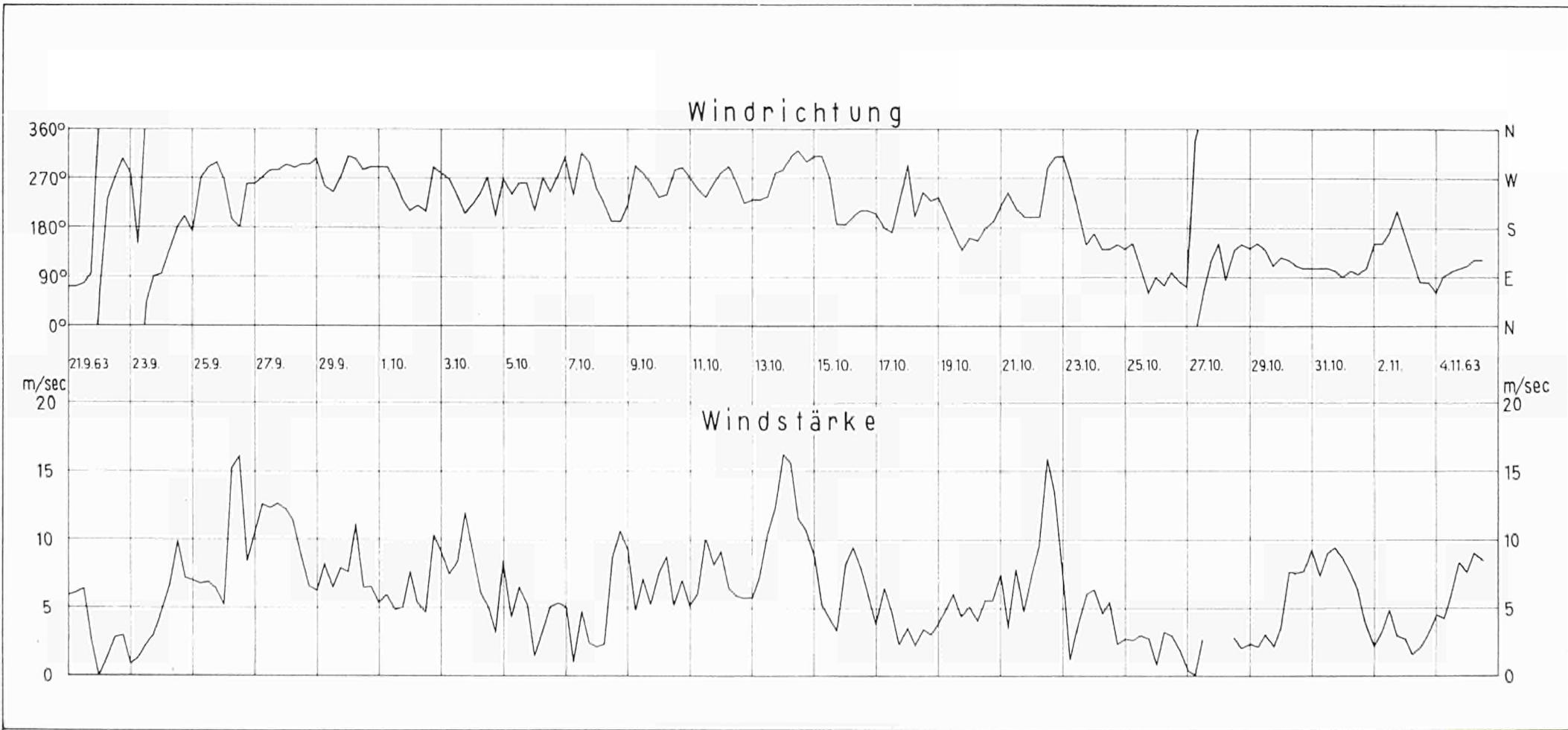


Bild 9 — Windbeobachtungen

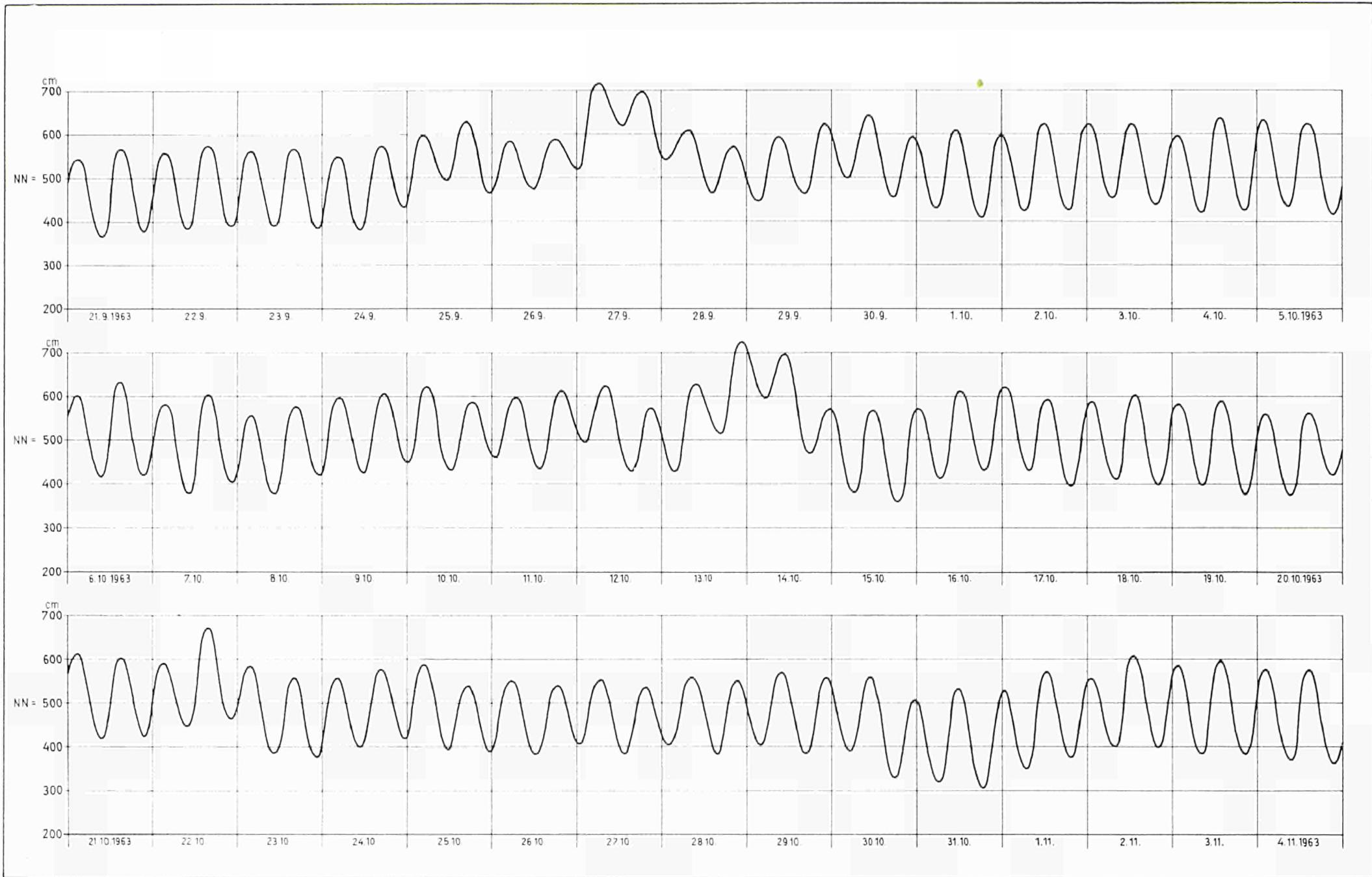


Bild 10 — Wasserstandsganglinien

UNTERSUCHUNGEN DER SANDWANDERUNG
MIT FLUORESZIERENDEN LEITSTOFFEN
IN DER BRANDUNGSZONE

von E. SEIBOLD und K. H. NACHTIGALL

INHALT

	Seite
1 — Aufgabe	130
2 — Vorbereitung im Laboratorium	130
2.1 — Färbung	130
2.2 — Aufbereitung der Proben und Auszählen der Luminophoren	130
2.2.1 Visuelle Auszählung	130
2.2.2 Photoelektrische Auszählung	132
3 — Vorbereitungen im Gelände	133
4 — Geländeuntersuchungen	133
4.1 — Untersuchung « Stakendorfer Strand »	133
4.1.1 Untersuchungsprotokoll	133
4.1.2 Technische Folgerungen	135
4.2 — Untersuchung « Westerland/Sylt »	135
4.2.1 Untersuchungsprotokoll	135
4.2.2 Technische Folgerungen	145
4.3 — Untersuchung « Kampen/Sylt »	145
4.3.1 Untersuchungsprotokoll	145
4.3.2 Technische Folgerungen	145
5 — Zusammenfassung	145
Schrifttum	146

1 — AUFGABE

Für die Klärung der Frage nach dem bestmöglichen Küstenschutz ist eine genaue Kenntnis der Sandwanderungsvorgänge entlang der Küste unumgänglich. Das Landesamt für Wasserwirtschaft in Schleswig-Holstein hatte daher in Zusammenarbeit mit der Europäischen Atomgemeinschaft ein radioaktives Verfahren zu entwickeln, um die Kinetik der Erosion und des Sandtransportes an sandigen Brandungsküsten zu untersuchen. Für die Vergleichsmessungen wurde die Luminophoren-Methode herangezogen, die im Geologischen Institut der Christian Albrechts Universität in Kiel weiter entwickelt worden war.

Die Untersuchungen wurden in 3 Arbeitsabschnitten durchgeführt. Die erste Erprobung des Verfahrens wurde im Frühjahr 1962 an der Kieler Bucht vorgenommen (siehe Studie Nr. 6). Die beiden weiteren Untersuchungen fanden im Frühjahr 1963 in Westerland/Sylt und im Herbst 1963 in Kampen/Sylt statt.

2 — VORBEREITUNG IM LABORATORIUM

2.1 — Färbung

Bei den künstlichen Leitpartikeln muß gewährleistet sein, daß sich diese wie die natürlichen Sande des Untersuchungsgebietes verhalten. Es wurde daher aus den zu untersuchenden Gebieten Originalsand für die Markierung entnommen.

Für die Herstellung der Luminophoren werden die Sande markiert, indem man pulverförmige, lumineszierende Farbstoffe mit einem geeigneten Bindemittel auf der Oberfläche der Sandkörner festheftet. Als Farbstoffe kommen « Lumogen RLT hellgelb » und « Lumogen GG rot » (Badische Anilin- und Sodafabrik, Ludwigshafen) sowie als Bindemittel Wasserglas in Frage, das nach unseren Erfahrungen den besten Widerstand gegen mechanischen Abrieb und Seewassereinwirkung bietet.

Dem völlig trockenen Sand setzt man in einer sich drehenden Mischtrommel den Farbstoff zu. Nach inniger Durchmischung von Sand und Farbstoff wird dieser Gemenge wieder bei rotierender Trommel nach und nach Wasserglas hinzugefügt, das unter dem Einfluß des CO₂-Gehaltes der Luft zu härten beginnt. Die Härtung des Wasserglases läßt sich beschleunigen, indem man über den Luminophorensand einen Heißluftstrom leitet. Durch diesen technischen Kniff wird nicht nur erreicht, daß sich die Härtungszeit von 3-4 Stunden auf 1/2-1 Stunde verkürzt, sondern daß auch ein durch langsames Härten bedingtes Abschieben des Bindemittels von der Oberfläche eines Sandkornes vermieden wird.

Nach vollständiger Trocknung wurde der Luminophorensand, von dem je 100 kg mit roter und gelber Farbe hergestellt wurde, in Plastikbeuteln für die Versuche bereitgestellt.

2.2 — Aufbereitung der Proben und Auszählen der Luminophoren

Im Laboratorium werden die nassen Proben, so weit es notwendig ist, geschlemmt, getrocknet und von groben Bestandteilen (Muscheln und Gerölle) befreit.

2.2.1 — Visuelle Auszählung

Auf einer elektromagnetisch betriebenen Schüttelrinne (AEG Typ DR 100, Bild 3) läßt man eine Einkornschicht des Probesandes in einer Breite von 100 mm einen durch ultraviolettes Licht beschienenen Streifen passieren. Visuell können danach die gelben oder roten Luminophoren ausgezählt werden. Bild 1 zeigt das Muster eines Zählprotokolls.

Entn. Pkt.	Probe Nr.	Gew. [g]	Bemerkungen	rot		gelb		
				n	n/G	n	n/G	
18	Y 65		2490		170	72	202	81
20	Y 66		2560		6	2	0	1
22	Y 68	o	1510		0	0	1	1
	Y 67	u	2750		5	2	3	1
24	Y 69	o	1270		0	0	127	100
	Y 70	u	2050		9	4	133	65
25	Y 71		2325		1	0	5	2
27	Y 72		2575		229	90	13	5
28	Y 73		2395		7	3	9	4
29	Y 74	o	835		1	1	0	0
	Y 75	u	1270		2	2	1	1
31	Y 76	o	1325	5 mm Schlick	10	7	107	79
	Y 77	u	1910		12	6	193	101
32	Y 78		3050		5	2	196	65
34	Y 79	o	1305		2	2	1	1
	Y 81	u	2285		6	3	2	1
36	Y 82	o	975		4	4	24	25
	Y 83	u	2505		17	7	45	18
38	Y 84		2920	} Gewicht der Sandfraktion 5 cm Schlick	12	4	138	47
39	Y 85	o	85		4	5	103	121
	Y 86	u	1170		0	0	7	6

Zeichenerklärung : o = oberer Greiferinhalt
u = unterer Greiferinhalt
n = absolute Anzahl der Luminophoren
G/n = Anzahl der Luminophoren pro Gewichtseinheit (1 kg).

Bild 1 — Zählprotokoll

2.2.2 — Photoelektrische Auszählung

Die visuelle Auszählung ist jedoch ein wesentlicher Nachteil der Luminophoren-Methode. Es wurden daher Versuche unternommen, um das Zählen von Luminophoren zu automatisieren. In Zusammenarbeit mit einem elektronischen Labor konnte eine automatische Zählereinrichtung konstruiert werden, bei der die Sandkörner durch einen Schacht geführt an einer Lichttasteinrichtung vorbeifallen. Diese Lichttasteinrichtung besteht aus 2 UV-Lampen und 2 UV-Filtern. Das von den Luminophoren emittierte Licht fällt durch einen 100 mm langen

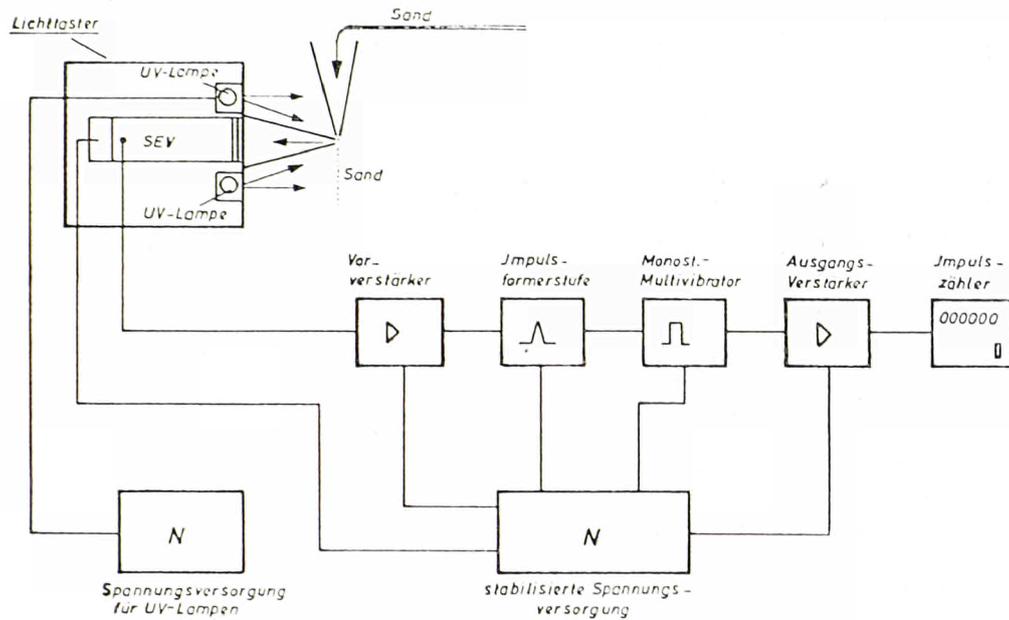


Bild 2 — Schaltbild des automatischen Luminophoren-Zählgeräts

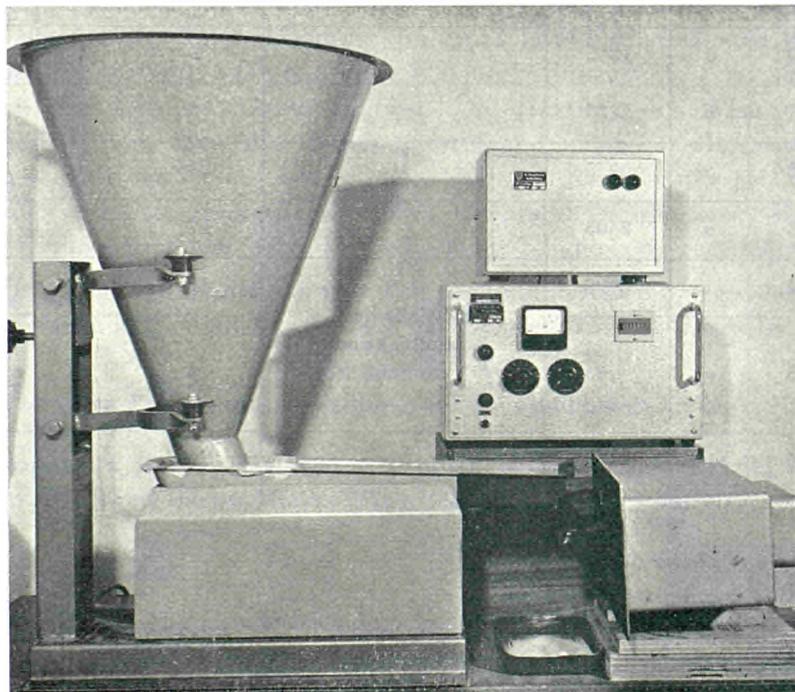


Bild 3 — Automatische Auszählanlage für Luminophoren-Schüttelrinne (links) und Lichttasteinrichtung (rechts)

und 3 mm breiten Schlitz auf einen Photomultiplier (Type Vp 12 bk) mit vorgesetzten Lichtfiltern zur Aussiebung des Fluoreszenzlichtes. Ein weiteres Gerät dient zur Spannungsversorgung des Photomultipliers und der beiden UV-Lampen. Die Anzahl der Luminophoren wird an einem elektromechanischen Zählwerk am Impulsverstärker registriert, der aus einer Verstärkerstufe, einem Schmidt-Trigger, einem monostabilen Multivibrator und einer Leistungsverstärkungsstufe besteht (siehe Bild 2 u. 3).

Nach anfänglichen Schwierigkeiten ist das Gerät mittlerweile so verbessert worden, daß es Luminophoren mit einem Durchmesser von mehr als 0,2 mm einwandfrei registriert.

3 — VORBEREITUNGEN IM GELÄNDE

Die notwendigen technischen, unten aufgeführten Vorbereitungen, die einen reibungslosen Ablauf der Versuche gewährleisten, waren vom Landesamt für Wasserwirtschaft in Kiel durchgeführt worden (siehe Studien 6-8).

- 1) Der Ausgabeort für die markierten Sande war durch eine Boje gekennzeichnet.
- 2) Für die genaue Ortung der Ausgabe- und Probenentnahmestationen, die durch Theodoliten erfolgte, war eine Basislinie mit verschiedenen Meßstationen abgesteckt und vermessen worden.
- 3) Für den Transport des Luminophorensandes zum Ausgabeort und für die Probenentnahme mit dem Backengreifer standen ein Fischerboot sowie ein Hubschrauber zur Verfügung.
- 4) Zur Verständigung mit den beiden Meßstationen einerseits und dem Hubschrauber andererseits war eine Funksprechanlage vorhanden.
- 5) Eventuell auftretende Radioaktivität in den Seeproben konnte mit einem Zählrohr (Typ FH 40 TvS) gemessen werden.

4 — GELÄNDEUNTERSUCHUNGEN

4.1 — Untersuchung « Stakendorfer Strand »

4.1.1 — Untersuchungsprotokoll

Am 7.3.1962 wurde von einem Fischerboot um 12.10 Uhr 100 kg Farbsand vor dem Stakendorfer Strand ausgegeben. Dies ungefähr an der Stelle, wo der unpräparierte Sand entnommen worden war. Die Vermessung des Eingabepunktes erfolgte durch Vorwärtsein-schneiden.

Bei südwestlichen Winden (1-2), heiterem Wetter mit guter Sicht und Seegang 0-1 konnte die Eingabe des Farbsandes gut beobachtet werden. Die Wassertiefe betrug beim Zeitpunkt der Eingabe 2 m. Am Grund wurden küstenparallel verlaufende Rippeln, jedoch keine Sandbewegung beobachtet. Der vorher angefeuchtete Farbsand wurde in drei Säcken mittels Leinen auf den Meeresboden gebracht und dort ausgeschüttet. Dabei wurden Farbkörner bis zu 1 m hochgewirbelt. Nach wenigen Minuten war das Wasser wieder klar.

Am 8.3.1962 herrschte von 8.00-16.00 Uhr dichter Nebel, so daß wegen schlechter Sicht keine Probenentnahme möglich war. Der Tag war morgens fast windstill. Gegen Abend frische der Wind aus süd-östlicher Richtung bis 3-4 auf. Die Rippeln auf dem Riff blieben weiterhin küstenparallel.

Am 9.3.1962 herrschte Wind aus Südost bis Ost um 5, in Böen 7. Mittlere Sicht, starke Brandung, weshalb morgens keine Probenentnahme möglich war, da die Fischer aus Sicher-

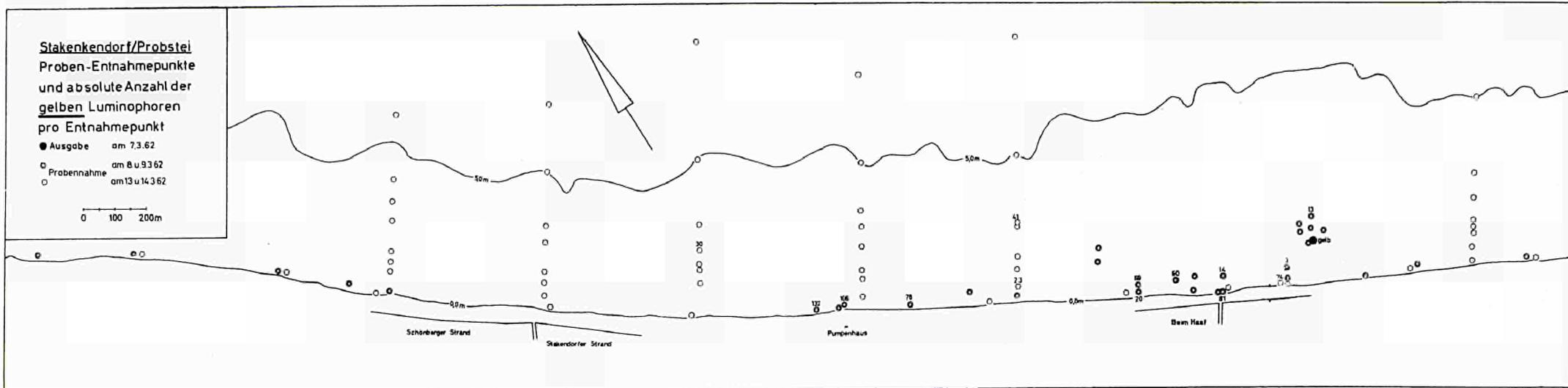


Bild 4

heitsgründen die Fahrt in See ablehnten. Gegen Mittag gelang es, einige Stichproben zu entnehmen. Dies geschah trotz starken Seeganges mit einem Backengreifer, der etwa die obersten 5 cm des sandigen Sediments abhebt. Außerdem wurden mit Schaufeln Proben am Strand und in Wassertiefen bis rund 1 m entnommen. Die Strömung verlief am Strand, im Strandpriel und auf dem Riff von Osten nach Westen. Das Durchqueren des Strandprieles war infolge starker Strömung sehr erschwert. Keine der entnommenen See- und Strandproben zeigte auf dem Zählrohr vom « heißen Sand » verursachte Radioaktivität. Die Zahl und Verteilung der gefundenen Luminophorenkörner ist aus der Skizze zu ersehen.

Am 11.3.1962 wurde der Strand kurz begangen. Das Handgerät zeigte keine künstliche Radioaktivität.

Am 13.3.1962 herrschte Nordwind (4-5), starke Brandung, sehr gute Sicht. Wieder konnten die Fischer keine Seeproben entnehmen. Entnahme von Strandproben, die keine künstliche Radioaktivität zeigten, war nach angelegter Skizze möglich.

Am 14.3.1962 herrschte Südost-Wind (3-4) mit mäßiger Brandung, Frost. Die sofortige Eishildung erschwerte die Probenentnahme auf See erheblich. Keine der entnommenen Sandproben zeigte künstliche Radioaktivität.

Am 15.3.1962 scheiterte durch die starke Brandung der Versuch, weitere Riffproben zu entnehmen.

4.1.2 — Technische Folgerungen

Der Versuch verlief insofern unbefriedigend, als die Probenentnahme nicht systematisch und netzförmig sowohl nach Osten und Westen als auch seewärts des Riffs erfolgen konnte.

Dieses Netz sollte mindestens doppelt nach entsprechenden Wetterlagen gelegt werden. Deshalb müßte ein Fischerboot und eine Besatzung zur Verfügung stehen, die auch bei rauherem Wetter einsatzfähig sind. Ist dies nicht möglich, so müßte ein Boot längere Zeit verfügbar sein, so daß ruhigere Wetterlagen abgewartet werden können. Ideal wäre, den Hubschrauber auch zur Entnahme von Seeproben einzusetzen.

Es sollte versucht werden, nicht nur die obersten 5 cm zur Luminophoren-Auswertung heranzuziehen, sondern 10-20 cm in den Sandproben zu erhalten. Damit könnte man wenigstens einen Teil der eventuellen Überdeckung von Luminophorensand durch ungefärbten ausklammern. Sicher ist auf diesen Effekt zurückzuführen, daß am 9.3.1962 in der Nähe des Eingabeortes nur 13 Luminophorenkörner pro kg gefunden wurden.

Auf Bild 4 ist die absolute Anzahl der Luminophoren pro Entnahmeort aufgetragen.

4.2 — Untersuchung « Westerland/Sylt »

4.2.1 — Untersuchungsprotokoll

Die *Ausgabe* erfolgte am 4.4.1963 nachmittags. Zu der Zeit wehte ein Wind aus SW-Richtung mit der Stärke 1-2. Die Wellen liefen fast küstenparallel am Strand auf.

Zunächst wurde gelber Luminophorensand in ein für den Transport von radioaktivem Sand hergestelltes, 70 cm hohes und 40 cm im \circ breites Probesandgefäß (Studie Nr. 4) gefüllt und durch Begießen mit Wasser angefeuchtet. Mit dem angehängten Behälter flog der Hubschrauber den auf dem Riff durch eine Boje markierten Ausgabeort an. Dort wurde der Behälter in das Wasser getaucht und auf der Sohle kurzzeitig abgesetzt. Dabei öffnete sich der Behälterdeckel und der Luminophorensand konnte den Behälter verlassen. Um eine vollständige Leerung des Behälters zu gewährleisten, war ein mehrmaliges Aufziehen und Absetzen des Behälters unter Wasser vorgesehen. Jedoch unterblieb diese Maßnahme, sodaß beim Auftauchen des Behälters über Wasser noch ein erheblicher Anteil des Luminophoren-

sandes auf die Wasseroberfläche regnete. Dies war insbesondere bei der Ausgabe des roten Sandes zu beobachten. Die Wasseroberfläche war noch lange Zeit intensiv rot gefärbt, wofür die Flotation von Farbstoffpartikeln und Luminophoren verantwortlich gemacht werden muß. Die Ausgabe selbst war um 16.00 Uhr beendet. Nach den bisherigen Vermessungsunterlagen befand sich der Ausgabeort für den gelben Luminophorensand auf der leeseitigen Oberkante und für den roten Luminophorensand auf der leeseitigen Unterkante des Riffs.

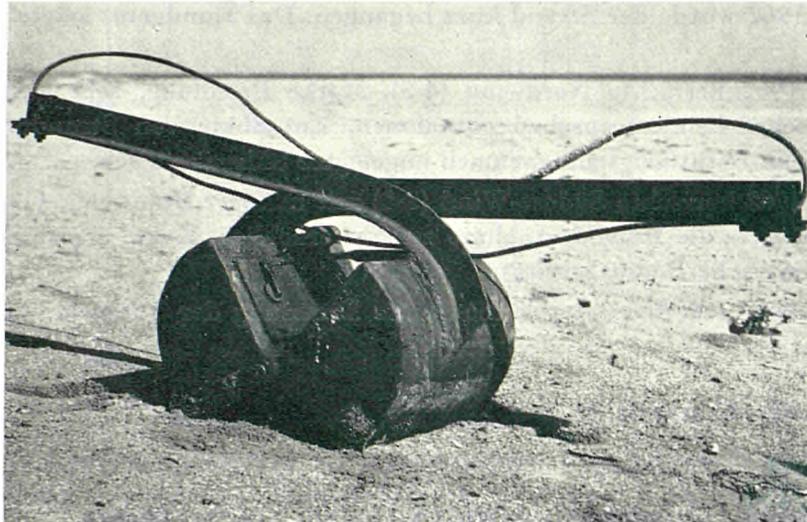


Bild 5 — Der vor der Probenentnahme geöffnete Backengreifer

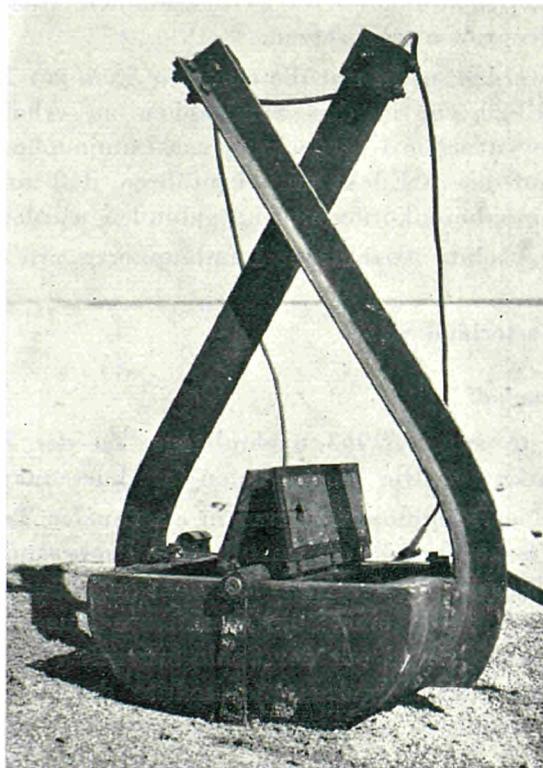


Bild 6 — Der nach der Probenentnahme geschlossene Backengreifer mit geöffneten Klappen

Bei der *Entnahme von Strandproben* wurde mit einer kleinen Schaufel eine 2-3 cm tiefe, 400 cm² große Fläche abgehoben und in einen nummerierten Plastikbeutel gefüllt. 36 Strandproben wurden am 3.4., 6.4. und 25.4.1963 an der Niedrigwasser- und Hochwasserlinie entnommen.

Die *Entnahme der Seeproben* erfolgte mit einem Backengreifer (siehe Bild 5 u. 6), der an einem 10 m langen Seil unter dem Hubschrauber angehängt wurde (siehe Bild 7).



Bild 7 — Hubschrauber mit angehängten Backengreifer

Probeflüge zeigten jedoch, daß die für die Entnahme von größeren Sandmengen mit Bleiplatten zusätzlich beschwerten Backengreifer für den Hubschrauber zu schwer waren und damit während der Probenentnahme für den Piloten ein größeres Risiko darstellten. Erst nach Entfernung der 20 kg schweren Bleiplatten konnten die Seeproben gefahrlos entnommen werden.

Der Hubschrauber flog mit dem Backengreifer auf vorher am Strand im Abstand von 60-80 m abgesteckten Profilen die Entnahmepunkte an und entnahm etwa alle 50 m eine Seeprobe. Bei eventuellen Fehlflügen konnte der Pilot über Funk-Sprechverkehr korrigiert und neu eingewiesen werden.

Nach erfolgter Probenentnahme und nachdem der Backengreifer auf dem Strand abgesetzt worden war, wurde die Sandprobe in einen nummerierten Plastikbeutel gefüllt. Bei größeren Sandmengen wurde aus dem Greiferinhalt eine obere, mittlere und untere Schicht getrennt entnommen. — Während der Entleerung (siehe Bild 8) und Reinigung (siehe Bild 9) des Greifers flog der Hubschrauber mit einem weiteren Backengreifer den nächsten Entnahmeort an. Die Probenentnahme erfolgte außerordentlich rasch in nur 5 minütigem Abstand.

Die am 8. und 9.4.1963 begonnene Probenentnahme mußte wegen schlechten Wetters abgebrochen werden und wurde am 19., 23. und 24.4.1963 fortgesetzt. Eine nochmalige Entnahme wurde am 14. und 15.5.1963 durchgeführt. Insgesamt wurden 125 Seeproben entnommen.



Bild 8 — Abfüllen des Greiferinhalts in Plastikbeutel



Bild 9 — Reinigen des Greifers mit einer Wasserpumpe

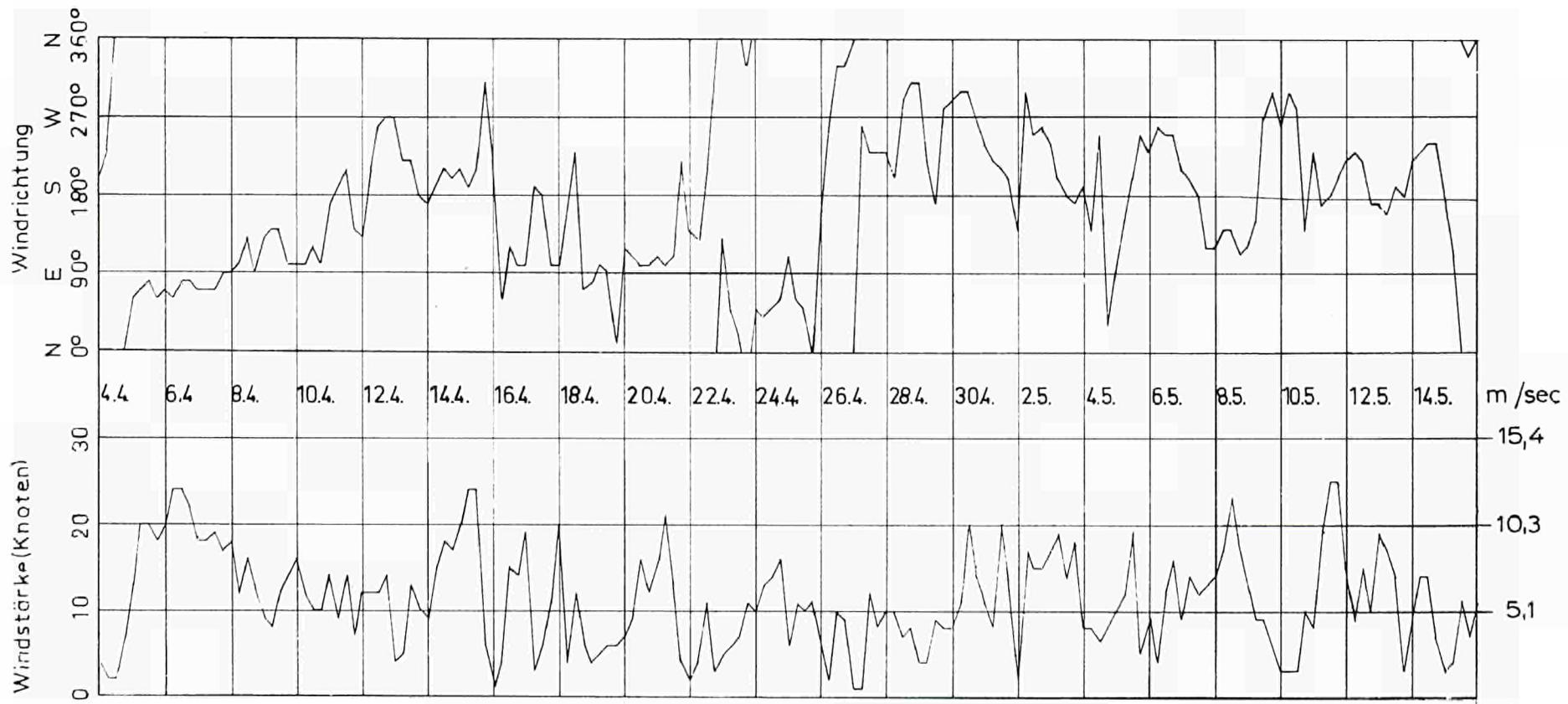


Bild 10 — Windverhältnisse in Westerland/Sylt vom 4.4.63 bis 15.5.63

Westerland/Sylt

Proben-Entnahmepunkte
und absolute Anzahl der
roten Luminophoren
pro Entnahmepunkt

- Ausgabe am 4.4.63
- ⊙ Seeprobentnahme am 8 u. 9.4.63
- Seeprobentnahme am 19, 23 u. 24.4.63
- Strandprobentnahme am 5 u. 6.4.63
- ⊙ Strandprobentnahme am 26.4.63

0 50 100m

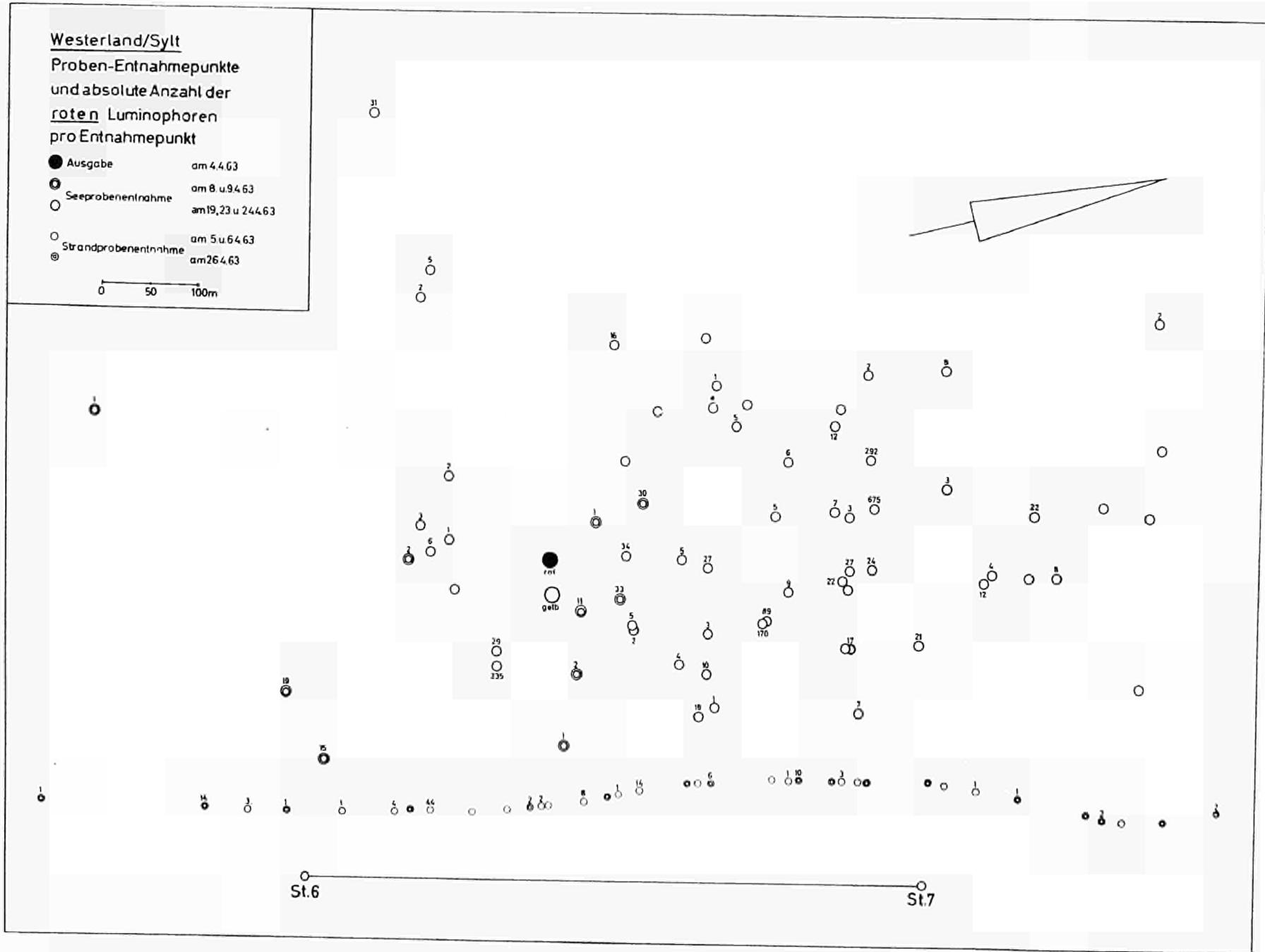


Bild 12

Westerland/Sylt
 Proben-Entnahmepunkte
 und die absolute Anzahl der
gelben Luminophoren
 pro Entnahmepunkt

- Ausgabe am 4.4.63
- Seeprobennahme am 14. u. 15.5.63

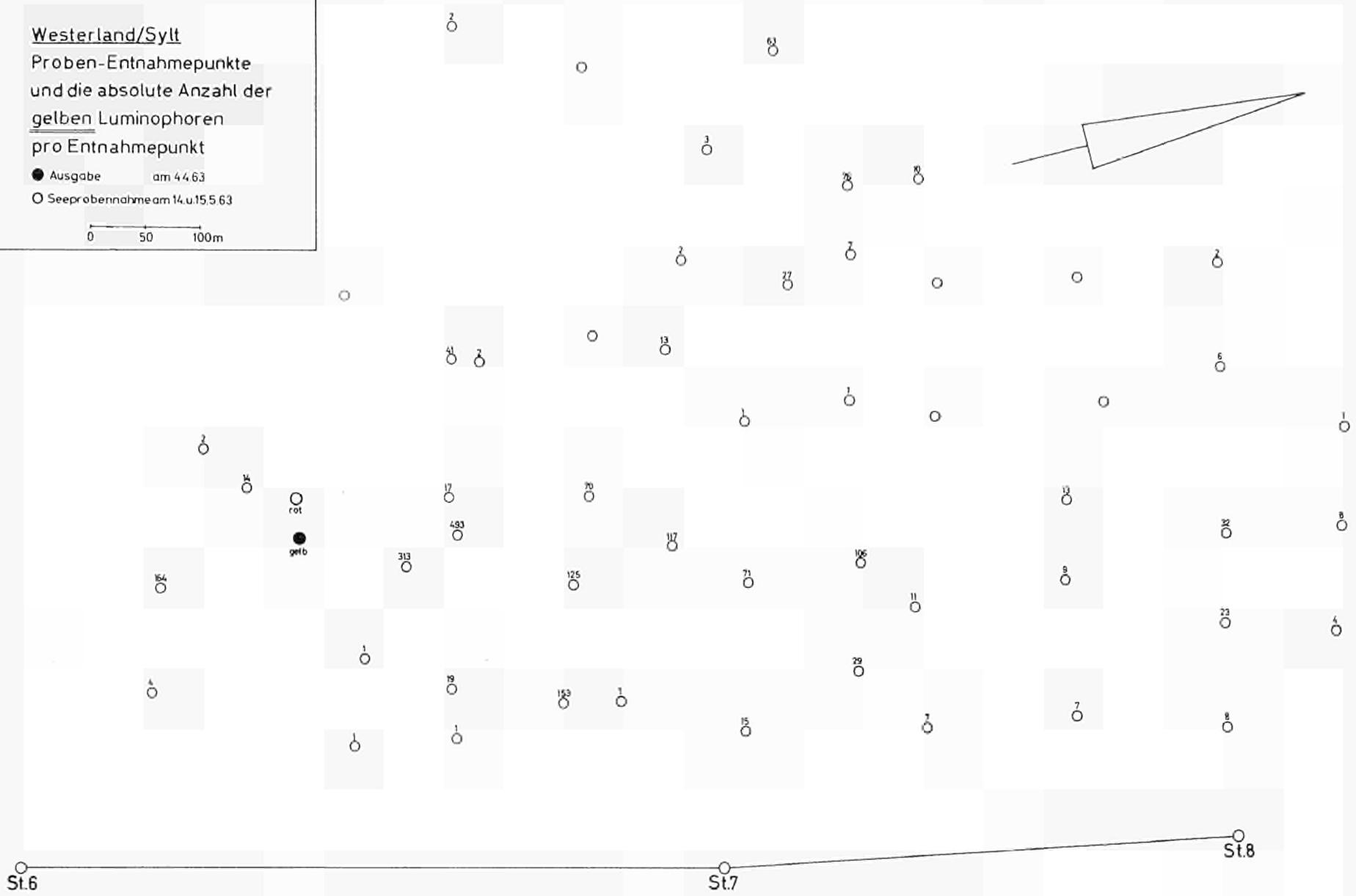
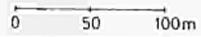


Bild 13

Westerland/Sylt
Proben - Entnahmepunkte
und absolute Anzahl der
roten Luminophoren
pro Entnahmepunkt

- Ausgabe am 4.4.63
- Seeprobennahme am 14. u. 15.5.63

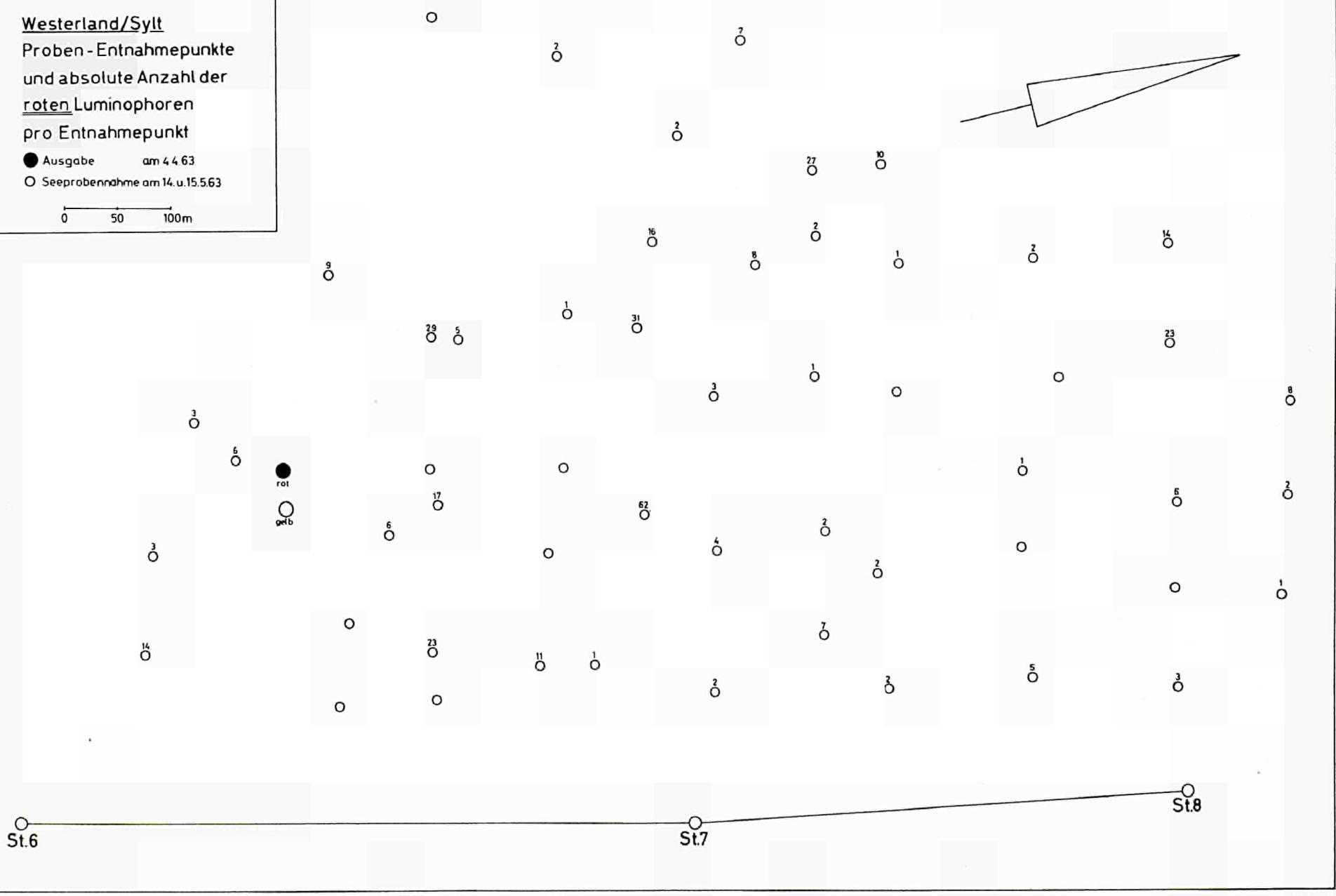
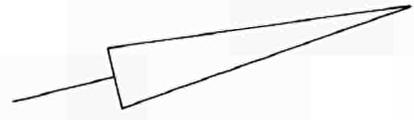
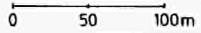


Bild 14

Kampen/Sylt
Proben-Entnahmepunkte
und absolute Anzahl der
gelben Luminophoren
pro Entnahmepunkt

- Ausgabe am 2.10.63
- Seeprobennahme am 1.11.63
- Strandprobennahme am 8.10.63
- ⊙ am 2.11.63

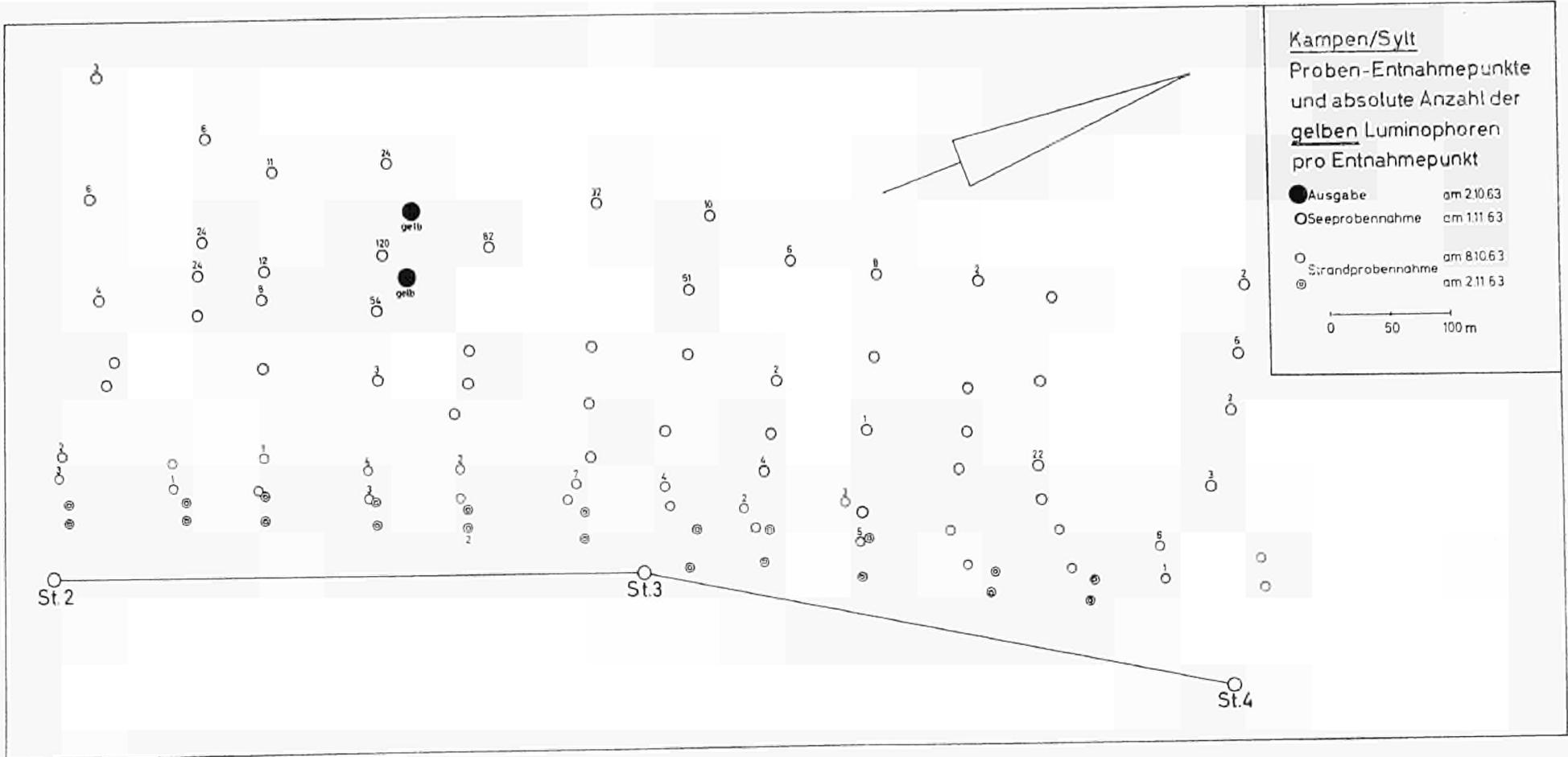
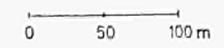


Bild 15

Über die z.Zt. des Versuchs herrschenden Windverhältnisse gibt ein Diagramm (siehe Bild 10) Aufschluß. Insgesamt gesehen war das Wetter relativ ruhig mit nur wenigen Sturmtagen (14. bis 15.4., 20.4., 8.5 und 11.5.1963). Der Zeitabschnitt vom 4. bis 26.4.1963 wurde durch eine mehr östliche Wetterlage, die darauf folgenden Wochen bis zum Versuchsabschluß mehr durch eine westliche Wetterlage gekennzeichnet.

4.2.2 — *Technische Folgerungen*

Zum Vergleich mit dem Versuch « Stakendorfer Strand » verlief dieser Versuch befriedigend. Insbesondere der Einsatz des Hubschraubers für die Probenentnahme mit dem Backengreifer war außerordentlich erfolgreich. Lediglich die Ausgabe des Luminophorensandes (s. oben) hätte sorgfältiger durchgeführt werden können. Ein engeres Probennetz für die Zeit vom 14. bis 15.5.1963 wäre wünschenswert gewesen. Für die Ausdeutung der Ergebnisse sollte in Zukunft eine Vermessung des Untersuchungsgebietes vor dem Versuch und laufend danach erfolgen.

Die Verteilung der Luminophoren im April und Mai ist in Bild 11 bis 14 ersichtlich

4.3 — **Untersuchung « Kampen/Sylt »**

4.3.1 — *Untersuchungsprotokoll*

Der Originalsand, der eine mittlere Korngröße von rund 0,5 mm hatte und für den Versuch gelb angefärbt worden war, wurde am 2.10.1963 zwischen 12.00 und 13.00 Uhr im Versuchsgebiet ausgebracht. Die Entnahme der Proben erfolgte in der bei « Untersuchung Westerland/Sylt » beschriebenen Weise. Infolge langanhaltenden schlechten Wetters konnten erst am 1.11.1963 49 Seeproben entnommen werden. 46 Strandproben wurden am 8.10. und 2.11.1963 gesammelt.

4.3.2 — *Technische Folgerungen*

Nach Berichten der Meßleitung wurde der Luminophorensand vollständig unter Wasser ausgegeben, so daß sich nur wenig flottierende Luminophoren auf der Wasseroberfläche befanden. Die Entnahme der Seeproben mit dem Hubschrauber konnte dank größerer Erfahrung reibungslos durchgeführt werden (Zeitdauer pro Greiferentnahme 3-4 Minuten)

Eine Vermessung der Bodenformen in diesem Gebiet war kurz vor der Untersuchung ausgeführt und die Ergebnisse im Tiefenplan dargestellt worden. Für weitere Untersuchungen sollten wiederholte Vermessungen sichergestellt werden. — Möglicherweise wäre eine gezieltere Probenentnahme auf dem Riff und ein engeres Probennetz für die Beurteilung der Transportverhältnisse des Sandes vorteilhafter gewesen.

Die Auszählergebnisse der Luminophoren sind in Bild 15 aufgetragen.

5 — ZUSAMMENFASSUNG

Mit Hilfe der Luminophorenmethode wurde der Versuch unternommen, die Sandwanderung im Bereich der Brandungszone zu messen, und zwar im gezeitenfreien Meer der Ostsee bei Stakendorf sowie im Gezeitenmeer der Nordsee bei Westerland und Kampen auf Sylt.

Die als Indikatormaterial verwendeten Luminophoren ließen sich billig und ohne nennenswerten technischen Aufwand herstellen.

Die Entwicklung einer automatischen Auszählvorrichtung für Luminophoren erleichterte die Auswertung der Proben erheblich.

Da bei kräftiger Brandung innerhalb der zu untersuchenden Gebiete eine Ausgabe der Luminophoren und eine Entnahme von Proben nicht durchgeführt werden kann, stellt der

Einsatz eines Hubschraubers eine wesentliche technische Verbesserung für die Tracer-Methode dar.

Die Luminophoren wurden abgesehen von anfänglichen Schwierigkeiten einwandfrei in das Untersuchungsgebiet ausgebracht. Die Entnahme der Seeproben konnte risikolos und zügig durchgeführt werden.

Für weitere Untersuchungen sollte eine laufende morphologische Vermessung des Untersuchungsgebietes sichergestellt werden, damit die Ergebnisse besser interpretiert werden können.

SCHRIFTTUM

- 1 — N. A. AJBULATOV — Quelques données sur le transfert des sédiments sableux le long d'un littoral obtenues à l'aide des luminophores. Bull. d'Information COEC, 13, 292-300, 1961.
- 2 — N. AJBULATOV, V. BOLDYREV und H. GRIESSEIER — Das Studium der Sedi-mentbewegung in Flüssen und Meeren mit Hilfe von fluoreszierenden Farbstoffen und radioaktiven Isotopen. Peterm. Geogr. Mitt., H. 3, 177-186 u. H. 4, 254-263, 1961.
- 3 — N. AJBULATOV, H. GRIESSEIER und J. SADRIN — Küstendynamische Unter-suchungen in der Uferzone der Anapa Nehrung. Acta Hydrophysica, 7, 105-150, 1962.
- 4 — H. GRIESSEIER — Über die Verwendung von Luminophoren beim Studium der littoralen Sandbewegungen. Acta Hydrophysica, 6, 1, 5-42, 1959.
- 5 — H. GRIESSEIER — Luminophore und Radioisotope im Dienste der Küstenforschung. Forsch. u. Fortschr., 36, 11, 326-330, 1962.
- 6 — J. C. INGLE — A Study of Foreshoresand Movement and Dispersion by Means of Fluorescent Dyed Sand. 1st National Coastal and Shallow Water Research Conference, Oct. 1961, 649-651, 1962.
- 7 — XX. Internationaler Schiffahrtskongress. Deutsche Berichte, Mitt. 3, 1961.
- 8 — O. KOLP und Ch. ENZENROSS — Über einige Laborerfahrungen bei der Kennzeich-nung von Meeressand mit lumineszenten Farbstoffen. Beitr. z. Meeresk., 1, 27-38, 1961.
- 9 — G. LUDWIG — Über die Anfärbung rezenter Sande mit lumineszierenden Stoffen zum Erkennen ihrer Transportwege. Acta Hydrophysica, 5, 3, 152-157, 1959.
- 10 — W. S. MEDWEDJEW und N. A. AJBULATOV — Die Anwendung gefärbten Sandes zum Studium der küstennahen Sandwanderung. Mitt. d. Akad. d. Wiss. d. UdSSR Geogr. Serie, Nr. 4, 99-102, 1956.
- 11 — W. J. REID und I. P. JOLLIFFE — Coastal Experiments with Fluorescent Tracers. Measuring Quantity and Direction of Littoral Sand. The Dock and Harbour Auth., 341-345, 1961.
- 12 — R. C. H. RUSSEL — The Use of Fluorescent Tracer for the Measurement of Littoral Drift. Proc. 7th Conf. on Coastal Eng., Council on Wave Res., 418-444, 1960.
- 13 — E. SEIBOLD und E. WALGER — Ein erster Versuch mit Luminophoren zur Unter-suchung der Sandverfrachtung in der Kieler Förde. Meyniana, 12, 1-8, 1963.
- 14 — W. E. YASSO — Fluorescent Coatings on Coarse Sediments : An Integrated System. Office of Naval Research, Geography Branch, Technical Report No. 1, 1-48, 1962.
- 15 — V. P. ZENKOVITCH — Emploi des luminophores pour l'étude du mouvement des alluvions sablonneuses. Bull. d'Information COEC, 10, 243-253, 1958.
- 16 — V. P. ZENKOVITCH — Movements of Sand on the Sea Bed. The Dock and Harbour Auth., 280-283, 1960.

ENTWICKLUNG UND UNTERSUCHUNG
EINES RADIOAKTIVEN INDIKATORVERFAHRENS
ZUR MESSUNG DER KINETIK, DER EROSION
UND DES SANDTRANSPORTES AN SANDIGEN BRANDUNGSKÜSTEN

von M. PETERSEN

I N H A L T

	Seite
1 — Forschungsvertrag	148
2 — Vorbereitende Maßnahmen	148
3 — Messungen	149
4 — Aufbereitung der Meßwerte	152
5 — Ergebnisse der Untersuchungen	152
6 — Kosten	155
7 — Schlußbemerkung	155
Schrifttum	156

1 — FORSCHUNGSVERTRAG

Die Europäische Atomgemeinschaft (EURATOM) und das Land Schleswig-Holstein haben am 31. Oktober/28. November 1962 einen Forschungsvertrag geschlossen. Gegenstand des Vertrages ist die Entwicklung und Untersuchung eines radioaktiven Indikatorverfahrens zur Messung der Kinetik der Erosion und des Sandtransportes an sandigen Brandungsküsten.

Um solche Küsten gegen Erosion zu schützen, werden aufwendige Anlagen gebaut. Ein wirksamer Küstenschutz kann aber nur erreicht werden, wenn sich die Planung auf ein sorgfältiges Studium der im jeweiligen Fall vorliegenden Erosionsvorgänge und des Sandtransportes stützen kann.

Herkömmliche Untersuchungsverfahren weisen teils verfahrenstechnische Unzulänglichkeiten, teils aber auch grundsätzliche Unkorrektheiten auf, so daß sie nur bedingten Wert haben und auch zu falschen Schlüssen führten [1].

Seit etwa 10 Jahren sind Untersuchungsmethoden mit radioaktiven Indikatoren bekannt geworden. Sie sind zur Lösung verschiedener hydrographischer Arbeiten besonders geeignet, weil sie Direktmessungen an der Gewässersohle ermöglichen und somit schneller und zuverlässiger eine Vorstellung von der Kinetik der Erosion und des Sandtransportes vermitteln.

Die turbulenten Wasserbewegungen an sandigen Brandungsküsten erschweren die Untersuchungsbedingungen. Ein Abrieb der Markierungssubstanz von der Sandkornoberfläche bedingt mehr oder weniger große Abweichungen der Eigenschaften des markierten Kornes von denen des Naturkornes. Wenn sich die Korngrößenverteilung ändert, verschiebt sich auch die Relation zwischen Strahlung und Sandmenge.

Besondere Forderungen werden an die Meßtechnik gestellt, weil Meßboote in der Brandungszone im allgemeinen nicht eingesetzt werden können.

Diese Überlegungen waren der Anlaß für die Entwicklung einer Radioaktiv-Methode, welche die Messung der Sandwanderung an der Brandungsküste erlaubt. Im wesentlichen wurde an Stelle der reinen Oberflächenmarkierung eine Volumenmarkierung angestrebt, damit die Eigenschaften des Sandkorns durch die Markierung nicht verändert werden und die Strahlungsmessung möglichst wenig von der jeweiligen Brandung beeinflusst wird.

Die Radioaktiv-Methode hat für sämtliche Länder der Erde, die über sandige Brandungsküsten verfügen, Bedeutung. Die mit dieser Methode erzielten Untersuchungsergebnisse werden mit einem anderen nichtradioaktiven Untersuchungsverfahren unter identischen Untersuchungsbedingungen verglichen.

Das von beiden Vertragspartnern gemeinsam aufgestellte Arbeitsprogramm sah vor, daß sich die Entwicklungsarbeiten und Untersuchungen in drei Abschnitten über 18 Monate erstrecken sollten.

Einzelheiten der Entwicklungsarbeiten und der Untersuchungen sind in zehn Studien beschrieben und mit dem Schrifttum in Verbindung gebracht worden, so daß hier im wesentlichen an entsprechender Stelle auf jene hingewiesen werden kann.

2 — VORBEITENDE MASSNAHMEN

Das Studium der bisher bekannt gewordenen Radioaktiv-Methoden zur Messung der Sandwanderung und ihrer Anwendbarkeit in der Hydrologie [2] führte schon bald zu der Auswahl einer geeigneten Arbeitsgruppe aus Vertretern verschiedenster Fachdisziplinen [6].

Voruntersuchungen in einem radio-chemischen Labor ergaben, daß Scandium-46 der am besten geeignete radioaktive Indikator ist [3]. Es wurde ein Verdünnungsverhältnis von 1 : 300.000 angenommen und daraus eine mit 2-3 Curie zu markierende Sandmenge von 100 kg für einen Meßabschnitt abgeleitet.

Diese Ergebnisse waren richtungweisend für die Entwicklung eines Sandgefäßes und eines Abschirmbehälters zum Transport von aktivem Seesand mit LKW oder Eisenbahn bis an die Küste. Für die Übergabe des markierten Sandes auf das Riff vor der Küste wurde ein Hubschrauber mit einer Spezialtraverse eingesetzt, der auch zum Einbringen von Luminoforesand, zum Messen der Strahlung und zur Entnahme von Bodenproben benutzt wurde, weil hier ein Verkehr mit einem Schiff oder Boot oft nicht möglich ist [4].

Bei der Herstellung der Transportgeräte waren verschiedene Sicherheitsbestimmungen zu berücksichtigen und Vorkehrungen zu treffen, die eine Gefährdung der Bevölkerung ausschließen und das Öffnen des Sandgefäßes unter Wasser vom Pilotensitz aus gewährleisten.

Für den Einsatz des Hubschraubers war eine besondere Tauchsonde mit Strahlungsdetektor zu konstruieren und zusammenzustellen; die Spannungsversorgung an Bord mußte sichergestellt werden.

Die Ortung der einzelnen Meßpunkte konnte am zweckmäßigsten durch « Vorwärts-einschneiden » über Basen von etwa 600 m Länge mit zwei einfachen Theodoliten vorgenommen werden. Die beiden Landstationen und der Hubschrauber wurden mit Funksprechgeräten ausgerüstet; im Abschnitt III war noch zusätzlich ein Feldtelefon vom Flugplatz zur Landstation « Zentrale » verlangt worden. Somit konnte sich der Meßleiter (« Zentrale ») stets mit den beiden anderen Stationen verständigen [8].

Die Meßanordnung wurde sorgfältig auf ihre Funktion hin überprüft und geeicht, bevor sie zum Messen eingesetzt wurde.

Um den Bestimmungen und Regeln des Strahlenschutzes zu entsprechen ist ein Institut für Biophysik um ein Gutachten gebeten worden. Dieses schließt bei der Verwendung von 3 Curie Scandium-46 mit der Feststellung, daß eine Aufnahme von Scandium mit Wasser in lebende Körper in gefährlichen Mengen ausgeschlossen ist [5].

Die Genehmigung zum Umgang mit radioaktiven Stoffen mußte von den zuständigen Genehmigungsbehörden eingeholt werden, deren Auflagen auf die Sicherheit für die mit radioaktiven Stoffen arbeitenden Personen und für die Bevölkerung allgemein hinzielten.

Nach den Bestimmungen für B-Verpackungen wurden der Abschirmbehälter und das Sandgefäß einer amtlichen Materialprüfung unterzogen.

Unter Einschaltung von mehreren Ministerien und Dienststellen konnte die Zulassung für den Funksprechverkehr erwirkt werden.

Die mit dem Flugbetrieb verbundenen Erlaubnisse, zum Beispiel für die Mitbenutzung von Flugplätzen und für Außenlandegenehmigungen, erforderten besondere Vorbereitungen.

Die Vorarbeiten, die mit der Luminoforesenzmessung in Zusammenhang standen, wurden von dem Geologischen Institut der Universität Kiel erledigt [9].

3 — MESSUNGEN

I — Mit den ersten Messungen konnte schließlich nach einer Vorbereitungszeit von zwei Jahren im Frühjahr 1962 begonnen werden, nachdem das damalige Bundesministerium für Kernenergie und Wasserwirtschaft sich bereit erklärt hatte, die Untersuchungen auch finanziell zu fördern (Arbeitsabschnitt I)

An der gezeitenfreien Ostseeküste ist die Brandung nur schwach; deshalb wurde hier die erste Phase der Erprobung des Verfahrens unter einfachen Bedingungen vorgenommen [6].

Zunächst wurde in dem Meßgebiet die natürliche Strahlung des Seesandes und die Einwirkung der Höhenstrahlung in verschiedenen Wassertiefen untersucht. In fünf Profilen im Abstände von je 2000 m wurden bis zu einer Strandentfernung von 400 m durchschnittlich

10 Aktivitätswerte je Profil aufgenommen. Insgesamt sind im Untersuchungsgebiet 96 Null-effekt-Werte gemessen worden. Die Meßzeit betrug jeweils zwei Minuten für den Meßpunkt.

In Wassertiefen von 0,8 bis 4 m lag die Nullrate etwa bei 190 Imp/min, das heißt, es kann mit reiner Bodenstrahlung gerechnet werden; die Wasserschicht schirmt die Höhenstrahlung ab. In flacherem Wasser (0,5 bis 0,8 m) steigt die Impulszahl der Nullrate auf 220 je Minute. Auf dem trockenen Strande oberhalb der Uferlinie (Mittelwasserlinie) wurden 450 Imp/min gemessen. Der Strand ist radioaktiv sauberer als der normale Sandboden hinter dem Deich mit 810 Imp/min.

Für die Herstellung der Tracer waren mehrere Zentner Seesand aus dem Riff entnommen und anteilig zur Markierung mit Scandium-46 nach Frankfurt-Hoechst und zur Markierung mit Leuchtstoffen (Luminoforeszenz) an das Geologische Institut der Universität Kiel geschickt worden. Die Entnahmestelle wurde genau vermessen, so daß hier später der markierte Sand wieder eingebracht werden konnte.

Wegen der dreimonatigen Lieferfrist für den radioaktiv markierten Sand mußten alle Vorbereitungen auf den entsprechend vorzeitig festgelegten Termin für die Einbringung abgestimmt werden.

Die Anlieferung des markierten Sandes an den Stakendorfer Strand fand planmäßig am 7. März 1962 statt.

Eine Schwimmboje wurde an die Stelle gelegt, an der das Sandmaterial entnommen worden war. Die Wassertiefe betrug etwa 2 m.

Es wurde hier dieselbe Menge an Luminoforeszenz (100 kg) ausgeschüttet, wie radioaktiv markierter Sand bereit stand, um die Ausbreitung echt vergleichen zu können.

Nach mehreren Probeflügen mit normalen, nicht markierten Sand, bei denen wertvolle Erfahrungen gemacht wurden, konnte das Sandgefäß — wie vorgesehen — vom Hubschrauber aus dem Abschirmbehälter herausgehoben und bei der Schwimmboje entleert werden.

In den nächsten Tagen und Wochen wurde die Ausbreitung des markierten Sandes beobachtet und abgegrenzt. An 362 Meßpunkten wurde künstliche Strahlung nachgewiesen.

Parallel zu der Radioaktiv-Messung wurden rund 150 Sandproben für die Auszählung der Luminoforeszenz entnommen.

Der Arbeitsabschnitt I erforderte einen Aufwand von rund 35 Flugstunden; davon entfielen auf die Vorbereitungen etwa 10, auf die Messung des Nulleffektes 12 und auf die Messung der künstlichen Aktivität 13 Flugstunden. Weitere 6 Flugstunden waren für An- und Abtransport des Hubschraubers nötig [6].

II — Wenige Wochen nach Beendigung der Messungen im Arbeitsabschnitt I kam eine Verbindung mit der Europäischen Atomgemeinschaft zustande, die sich in Anbetracht der Bedeutung des angefaßten Problems für eine möglichst gründliche Klärung der Anwendbarkeit der Radioaktiv-Methode interessierte. Ein Forschungsvertrag wurde nach der Genehmigung durch EURATOM am 23. Oktober 1962 vom Kabinett der Landesregierung Schleswig-Holstein beschlossen.

Der Forschungsvertrag umfaßte die Durchführung von zwei weiteren Arbeitsabschnitten am Weststrand der Nordseeinsel Sylt. Die reichen Erfahrungen von der Ostseeküste gaben Veranlassung zu einigen wesentlichen Verbesserungen, insbesondere auf dem Gebiete der Meßanordnung.

Da die recht empfindlichen Geräte bei dem robusten Einsatz in der Brandung verhältnismäßig störanfällig sind, wurde es für richtig und notwendig erachtet, eine doppelte Ausrüstung der Meßgeräte zu beschaffen und in Reserve bereitzuhalten,

Die Röhrengeräte der Zähl- und Steuereinheiten erlitten durch die mechanischen Erschütterungen im Hubschrauber leicht meist kleinere Schäden, die dann je nach Dauer der Ersatzteilbeschaffung und Reparatur unproduktive Arbeitspausen zur Folge hatten. Der Ersatz der Röhrengeräte durch leichtere und sicherere Transistoreinheiten hatte dazu noch den Vorteil der geringeren Netzspannungsversorgung. Die Meßempfindlichkeit wurde durch die zweite Sonde noch weiter verbessert.

Die Kufen des Hubschraubers wurden aus Gründen der Sicherheit für den Piloten und den Meßingenieur durch Schwimmer ersetzt, denn am Weststrand von Sylt muß auf das Bereithalten eines Bootes verzichtet werden.

Eine Verlängerung des Tragseiles und des Sondenkabels gab dem Hubschrauber die Möglichkeit, seinen Fixierpunkt selbst mitzuführen, so daß das Auslegen und Einholen von Hilfsbojen (wie am Stakendorfer Strand) entfällt. Die Einbringestelle muß jedoch stets durch eine gut sichtbare Boje gekennzeichnet sein.

Das Tragseil wurde durch ein geflochtenes Seil ausgewechselt, weil die unter dem Hubschrauber hängende Sonde oft in Drehungen versetzt und das Sondenkabel auf Zug beansprucht wurde; Kabelbrüche waren die Folge.

Die Bestimmung der Nullrate im Meßabschnitt Westerland/Sylt geriet unter Zeitdruck, weil plötzlich aufkommender Nebel die Arbeit behinderte.

Inzwischen war die Lieferung des radioaktiv markierten Sandes pünktlich eingetroffen und alle übrigen Vorarbeiten waren für die Aktivitätsmessungen beendet.

Nach dem unter I beschriebenen Verfahren konnten am 4. April 1963 je 100 kg Luminoforesand und mit Scandium-46 radioaktiv markierter Sand (3,2 C) an die gekennzeichnete Einbringestelle befördert und — wie vorgesehen — auf der Gewässersohle eingebracht werden. Begünstigt durch verhältnismäßig ruhige Wetterlagen mit teilweise ablandigem Wind war die Verbreitung der künstlichen Strahler vom nächsten Tage an gut zu verfolgen.

Bei diesen Untersuchungen sind rund 40 Flugstunden angefallen, in denen etwa 81 Nulleffekt- und 385 Aktivitätsmessungen geschafft [7] und rund 161 Sandproben gewonnen wurden [9].

Das Herausstechen von profiltreuen Sandproben aus der Gewässersohle war wegen Mangel an geeigneten Geräten nicht möglich. Es wurden deshalb Backengreifer verwendet. Die Oberfläche des Sandriffes ist jedoch so hart, daß die Greifer zum Teil nur wenige Zentimeter tief in den Sand hineinfäßten. Der Versuch, die Backen mit Bleiplatten zu beschweren, mußte aufgegeben werden, weil die Greifer sich im Sand festsaugten und dadurch die Belastungsgrenze für den Hubschrauber erreicht wurde [9].

Alle Sandproben wurden mittels Radimeter auf etwaige künstliche Aktivität überprüft.

III — Der Arbeitsabschnitt III vor Kampen auf Sylt ist gekennzeichnet durch eine mehrwöchige Sturmweatherlage, die unmittelbar vor dem Einbringetag (2. Oktober 1963) begann. Die Nulleffektmessungen konnten planmäßig beendet werden.

Das Einbringen des radioaktiv markierten Sandes bei Sturm birgt ein derart großes Risiko in sich, das ein günstiger Zeitpunkt abgewartet werden mußte. Dies bedeutete einige kostspielige organisatorische Änderungen. Zum Beispiel mußte der Abschirmbehälter mit dem gefüllten Sandgefäß (zusammen ca. 2 Tonnen Gewicht) auf ein anderes Fahrzeug umgeladen werden, um von den Standgebühren frei zu bleiben.

In einer nur wenige Stunden dauernden (vorausgesehenen) windschwächeren Pause gelang die reibungslose Einbringung sowohl des Luminoforesandes als auch des radioaktiv markierten Sandes (nochmals 100 kg, 3 Curie).

Allerdings erlaubte die Weatherlage erst gegen Ende des Monats Oktober eine umfassendere Messung der Aktivitäten und die Entnahme von Sandproben mit Backengreifer [8].

In rund 38 Flugstunden sind 88 Nulleffekt- und 256 Aktivitätsmessungen durchgeführt sowie 88 Sandproben entnommen worden.

4 — AUFBEREITUNG DER MESSWERTE

Die Aktivitätsrate ergibt sich aus der Differenz der Zählrate und der Nullrate. Die Intensität (Aktivität) des Radioisotops Scandium-46 nimmt mit der Dauer der Messungen nach dem Zerfallsgesetz ab; infolgedessen müssen alle Meßwerte für die durchgeführten Vergleiche (Aktivitätswerte für gleiche Meßpunkte nach verschiedenen Zerfallszeiten) entsprechend umgerechnet werden. Auch die Wasserüberdeckung ist dabei zu berücksichtigen.

Für die Auswertungen standen Registrierungen der Wasserstände, der Windgeschwindigkeiten und -richtungen zur Verfügung.

Die so gefundenen Werte wurden in Pläne neben die lagetreuen Meßpunkte eingetragen. Danach konnten Linien gleicher Aktivitäten (Isoimpulslinien) gezeichnet werden [6, 7, 8].

Die Anzahl der Luminoforen je Probenentnahmepunkt wurden in entsprechende Pläne eingetragen [9].

5 — ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN

- 1) Die Anwendung der Tracer-Methoden an Brandungsküsten ist in den Jahren 1962 und 1963 an der schleswig-holsteinischen Ost- und Nordseeküste in drei Meßabschnitten systematisch geprüft und erprobt worden. Gründliche Vorbereitungen und Grundlagenmessungen unter einfachen Bedingungen am gezeitenfreien Ostseestrand waren Voraussetzungen für die Durchführung der Messungen an der Nordseeküste vor der Insel Sylt.
- 2) Das Prüfungsergebnis stützt sich auf 1268 Strahlungs-Meßwerte und auf 336 analysierte Sandproben.
- 3) Das Meßverfahren weicht grundlegend von herkömmlichen Methoden der Hydrometrie ab. Es verlangt ein Umdenken und eine Neuorientierung aller Beteiligten. Der Einsatz mehrerer Fachdisziplinen führte zu der Zusammenstellung eines Arbeitsteams, das stets der zu lösenden Aufgabe verbunden blieb.
- 4) Im Rahmen des Forschungsvorhabens ist es gelungen, den Natursand in der Weise radioaktiv zu markieren, daß jedes Korn seine physikalischen Eigenschaften beibehält. Das Nuklid Scandium-46 kann als geeigneter Meßtracer angesehen werden. Die Halbwertszeit von 84 Tagen und die beiden relativ harten Gamma-Linien erlauben die Anwendung der Nachweismethode für den Wanderweg des radioaktiv markierten Seesandes auch bei wechselnder Stör- und Bodenstrahlung (Nulleffekt) niederer Energien und bei der hohen künstlichen Aktivität von 2-3 Curie über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr hinaus.
- 5) An Brandungsküsten, wo Boote und Schiffe für Messungen und Untersuchungen nicht eingesetzt werden dürfen, ist der Hubschrauber ein wendiges Verkehrsmittel zum Transport des markierten Sandes vom Ufer bis zur Einbringestelle auf dem Riff; und insbesondere zum Messen sowie zur Entnahme von Sedimentproben.
- 6) Als Flugzeiten sollten für jeden Meßabschnitt mindestens 50 Stunden geplant und finanziert werden, um alle Kontrollen messen zu können.
- 7) Eine Funkverbindung vom Hubschrauber zu den geodätischen Meßstationen ist unentbehrlich für die Einweisung in die Meßpunkte, für Warnungen vor Hindernissen am Strand und im Wasser. Fehlmessungen können sofort wiederholt werden; der Hubschrauber erhält die Winkel von den beiden Basis-Stationen und kann danach seinen Standort selbst bestimmen.

- 8) Das Sandgefäß mit seiner Verschlussvorrichtung, das durch Fernbedienung vom Pilotensitz aus unter Wasser geöffnet werden muß und der Abschirmbehälter mit der Ausschwenkvorrichtung für den Deckel und der Verriegelung funktionieren gut, ebenso die Traverse, an der das Sandgefäß unter dem Hubschrauber hängt, mit den aus dem Segelflugbetrieb übernommenen Einrichtungen.
- 9) Die Kombination und Herstellung der Meßgeräte war zum Teil von der begrenzten Tragfähigkeit des Hubschraubers abhängig. Die eingesetzte Geräteanordnung entsprach elektronisch und vom Meßprinzip her den geforderten Ansprüchen in vollem Maße. Die Zähl- und Steuereinheiten als Röhrengeräte waren dagegen den mechanischen Erschütterungen im Hubschrauber nicht gewachsen; sie erwiesen sich für Arbeiten unter diesen Bedingungen als ungeeignet. Beim Heben und Senken des Hubschraubers (mit Schwingungen hoher Amplitude und kleiner Frequenz) fielen die Zähldekaden zeitweilig aus; die Rückstellung der Zeit und der Impulse war ebenfalls unregelmäßig. — Bewährt haben sich die später eingesetzten volltransistorisierten RIDL-Meßkombinationen. Sie versagten nur selten und waren auch dann noch teilweise einsatzfähig. Spannungsschwankungen aus dem Hubschrauberbordnetz können als Meßfehlerquelle ausgeschaltet und Schwierigkeiten, wie festgestellte Zählratenänderung bei Umstellung der Versorgung von Bordnetzspannung auf die des Startakkus, vermieden werden, wenn das Netzteil zum aufladbaren Akkugerät umgebaut wird.
- 10) Alle Meßeinheiten in doppelter Ausfertigung vorzuhalten spart Zeit und Geld. Schnelles Auswechseln der Geräte ist möglich; Reparaturen können auf Zeiten ungünstiger Witterung verlegt werden.
- 11) Allen Erschütterungen und auch dem oft unsanften Aufsetzen vom Hubschrauber hielten die Meßsonden stand. Sie erwiesen sich als die stabilsten Teile der Meßgeräteanordnung.
- 12) Wenn gegeneinander auswechselbare Gerätesätze für die Messung der Radioaktivitäten verwendet werden, müssen Eichdaten für jedes Gerät vorhanden sein. Die Rückführung der Meßwerte auf ein Standardgerät (eine geeichte Strahlungsmeßanordnung mit bestimmtem Arbeitspunkt) ist erforderlich.
- 13) Die Geräte sind vor und nach jedem Meßvorgang zu prüfen, weil die elektronischen Teile bei den außergewöhnlichen Betriebsbedingungen recht stark beansprucht werden. Die in den Eichmessungen ermittelten Konstanten ermöglichen genaue Kontrollen der Arbeitsdaten der Meßsonden und Zähleinheiten und deren Funktionssicherheit.
- 14) Durch Verdrehen auftretende Schäden am Koaxialkabel zwischen Hubschrauber und Meßsonde können durch die Dreifach-Aufhängung der Sonde wesentlich verringert werden.
- 15) Bei ungleichmäßigem Untergrund empfiehlt es sich, reichlich Nulleffektmessungen durchzuführen, denn die Sicherheit für die Angabe von Meßinformationen niedriger Intensität und die Empfindlichkeit der Strahlenmeßgeräte kann infolge geringerer Fehler erhöht werden.
- 16) Die auf dem Sandriff ausgeschütteten markierten Sande breiten sich im Brandungsbereich nach den natürlichen dynamischen und morphologischen Bewegungstendenzen aus. Sie verteilen sich innerhalb der Riffzone.

Am Weststrand von Sylt bei Kampen konnte das Ausbreitungsgebiet des radioaktiven Sandes nach 20 Sturmtagen auf einer Breite von 700 m sowie etwa 2000 m (= durchschnittlich ca 5 m/Stunde) nach Norden und 600 m nach Süden abgegrenzt werden. Die im Schrifttum bekanntgegebenen Wanderwege für markierte Feststoffe von 27 m/Stunde in Amerika und von 78 m/Stunde in Rußland konnten nicht bestätigt werden. Wenn auch während eines Sturmes selbst nicht gemessen werden kann, so muß nach diesen Meßergebnissen damit gerechnet werden, daß das Riff im großen und ganzen auch während

eines Sturmes erhalten bleibt. Die erhebliche Konzentration an Aktivitäten in unmittelbarer Nähe der Einbringestelle läßt sich sonst nicht erklären. Die Ergebnisse von Kampen und Westerland stimmen grundsätzlich überein; die Nachmessung in Westerland wurde nach der Sturmzeit vorgenommen.

- 17) Oberhalb der Uferlinie (Mittelwasser bzw. Miteltidehochwasser) sind nur an vereinzelten Punkten wenige markierte Sande gefunden worden.
- 18) Als Arbeitshypothese wurde zu Beginn der Untersuchungen mit einem Verdünnungsverhältnis von $1 : 3 \cdot 10^5$ gerechnet. Auch bei größerer Verdünnung bis etwa $1 : 10^7$ ist ein genauer Nachweis der künstlichen Radioaktivität mit der angewendeten Meßgeräteeinrichtung möglich. Für einen Meßabschnitt dürfte hier eine Menge von 100 kg Scandium-46 mit 1 Curie ausreichen. Die Meßperiode wird im allgemeinen nicht länger als ein halbes Jahr dauern. — Wegen der örtlich verschiedenen Verhältnisse wird die zu erwartende Verdünnung von Fall zu Fall abgeschätzt werden müssen.
- 19) Quantitative Aussagen über die transportierten Sandmengen ist das eigentliche Ziel der Sedimentuntersuchungen. Umlagerungen, Vermischungen und Überlagerungen können mit der hier eingesetzten Meßanordnung jedoch nicht analysiert werden, weil geeignete Geräte zur Entnahme ungestörter Sandproben von 30-50 cm Bodentiefe für den Hub-schraubereinsatz noch nicht zur Verfügung stehen.
- 20) Die Probenentnahme für die Luminoforenbestimmung wurde mit Backengreifern vorgenommen. Die Entnahmestellen wurden nach den Aktivitätsaufzeichnungen angeordnet. Daher ergaben sich eine kleinere Anzahl an Entnahmepunkten im Verhältnis zu den Aktivitäts-Meßpunkten und verbunden damit auch geringere Flugzeiten.
- 21) Vergleicht man die Luminoforen-Methode mit der Radioaktiv-Methode bei Untersuchungen der Sandwanderung in der Brandungszone, so zeichnet sich unabhängig von der Genauigkeit der Messungen folgendes ab :

Mit der Aktivitätsmessung kann jeder Meßpunkt hinsichtlich des Aussagewertes sofort abgeschätzt und in zweifelhaften Fällen durch Wiederholung oder Verdichtung der Meßpunkte verbessert werden. Das ist bei der Luminoforen-Methode erst nach Auszählung der Proben möglich. Die Auswahl der Probenentnahmestellen ist vergleichsweise mehr von Zufälligkeiten abhängig. Dem Abbau der künstlichen Strahlung nach dem Zerfallsgesetz steht eine lange Dauer der farbigen Lumineszenz gegenüber, insbesondere wenn solche Sande längere Zeit verschüttet sind und die Markierung nicht durch Abrieb verringert wird. Wie weit ein geringer Flottiereffekt beim Ausbringen als Folge der Markierung mit Leuchtstoffen im Vergleich zur Radioaktiv-Methode andere Meßergebnisse bringen kann, konnte im Feldversuch nicht geprüft werden; das hydraulische Modell erscheint hierfür geeignet.

- 22) Mit den beim Forschungsvorhaben eingesetzten Mitteln hätten sich bei Untersuchung der für die Luminoforen entnommenen Greiferproben auch quantitative Aussagen über die Ausbreitung des Sandes an der Oberfläche machen lassen. Dazu ist neben der Aktivitätsbestimmung eine Korngrößenanalyse der Proben notwendig. Aus den dabei gewonnenen Werten sind ferner Angaben über bei der Wanderung des markierten Sandes auftretende Fraktionierungen möglich.
- 23) Vorarbeiten haben ergeben, daß sich auch andere Feststoffe, wie zum Beispiel Hafenschlamm, fest markieren lassen, so daß die beschriebenen Untersuchungsmethoden sich auch auf Transportvorgänge in Baggerzonen ausdehnen lassen.
- 24) Die Bestimmungen des Strahlenschutzes konnten mit entsprechenden Vorkehrungen eingehalten werden.

- 25) Die quantitative Deutung der Messungen, die für die Praxis wichtig ist, dürfte erst zu erwarten sein nach Verbesserung grundlegender Kenntnisse über die Umlagerungstiefe, über die Verdünnungsvorgänge (das heißt über den Austausch Tracer gegen Träger Korn für Korn) und über die Materialsortierung bei der Wanderung von Sanden im Brandungsbereich unter dem Einfluß unterschiedlicher Wasserbewegungen. Dazu wäre ein begrenztes Versuchsfeld vom Strand bis zu den äußeren Riffen genau zu vermessen und mit gekennzeichneten Bezugspunkten zu versehen. Die sich mit den hydrometeorologischen Bedingungen ändernde Morphologie wäre laufend zu messen. In Kleinversuchen ausgebrachte markierte Sande würden erlauben, Umlagerungstiefe, Rippelbildung und ähnliches zu beurteilen. Zu prüfen wäre, wo und wie die Tracer am besten einzubringen sind (punktförmig, linear, kontinuierlich?). Korngrößenverteilung, deren Veränderungen, Kornform und Einfluß der Markierung sollten überwacht werden. Die Untersuchungen könnten an einer gezeitenlosen Küste angesetzt und in einem ausgeprägten Brandungsbereich fortgeführt werden.
- 26) Für den Küstenschutz kann als Ergebnis des Forschungsvertrages herausgestellt werden :
- a) Der naturbedingte Sandtransport entlang sandiger Küsten findet zum überwiegenden Teil im Bereich der ufernahen Sandriffe statt.
 - b) Sandriffe bleiben auch während der Sturmfluten erhalten.
 - c) Die bisherige Anordnung von Querwerken (Strandbuhnen) reicht nicht bis zum Riff hinaus und kann deshalb den Sandhaushalt vor einem Strandabschnitt nur geringfügig beeinflussen.
 - d) Die an anderen Küsten nach dem Luminoforenverfahren ermittelten Transportgeschwindigkeiten sind an den untersuchten Küstenabschnitten nicht gefunden worden. Für den Fall einer Sicherung des Ufers durch Vorspülen von Sand im Baggerbetrieb wird der Aufwand entsprechend geringer. Quantitative Untersuchungen sollten unbedingt fortgesetzt werden, wenn Kosten gespart werden sollen.

6 — KOSTEN

Bei der Anwendung des Radioaktiv-Verfahrens entstehen größenordnungsmäßig folgende Kosten :

a) einmalige Kosten	
Beschaffung der Geräte	
2 Ausfertigungen zu je 30.000,— DM = 60.000,— DM.	
b) wiederkehrende Kosten je Meßabschnitt	
Lieferung des markierten Sandes	25.000,— DM
Einsatz eines Hubschraubers mit Pilot, Mechaniker, Funk-	
sprechanlagen, Fahrzeuge	35.000,— DM
Verschiedenes	10.000,— DM
Zusammen rund	70.000,— DM

In diesen Kosten sind die Personalkosten für das Meßteam nicht enthalten, soweit nicht unter b) besonders vermerkt.

7 — SCHLUSSBEMERKUNG

Die dankenswerte Förderung des Forschungsvorhabens durch das derzeitige Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft, durch die Europäische Atomgemeinschaft und die Landesregierung Schleswig-Holstein war Voraussetzung für seine Durchführung.

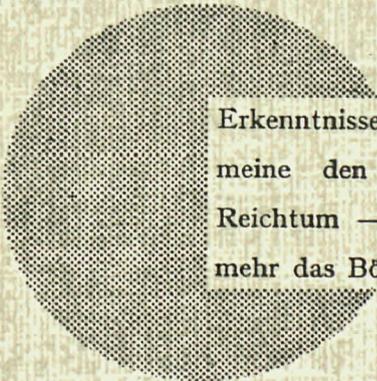
Dank gebührt ferner allen Mitarbeitern, die durch Rat oder Tat zu dem Gelingen beigetragen haben : Dr. Becker, Ing. Böttcher, Ing. Dahms, Dr. Dolezal, Professor Dr. Faßbender, Studienrat Göke, Professor Dr. Götte, Professor Dr. Kliefoth, W. Langhoff, Kapt. z. See Linke, Professor Dr. Muth, Dr. Nachtigall, Dr. W. Petersen, Ing. N. Rüpke, Dr. Schulze-Pillot, Professor Dr. Seibold, Ing. Suttor, Ing. Thomschke und Dr. Vollbrecht ; zu erwähnen sind weiter die Bundesanstalt für Materialprüfung, die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Kiel, die Oberpostdirektion Kiel, die Flugleitungen Hartenholm, Holtenau und Westerland, der Deutsche Wetterdienst, die Staatliche Ingenieurschule Kiel, die Wasserschutzpolizei Kiel, die Gewerbeaufsichtsverwaltung, das Landesamt für Wasserwirtschaft, die Wasserwirtschaftsämter Lübeck und Schleswig, sowie das Marschenbauamt Husum.

Dem Küstenausschuß Nord- und Ostsee ist für die Bereitstellung des in- und ausländischen Schrifttums zu danken.

Der Deutschen Gesellschaft zur Rettung Schiffbrüchiger wird dafür gedankt, daß sie solange ein Schiff in Bereitschaft legte, bis sich das Arbeitsteam eingespielt hatte.

SCHRIFTTUM

- 1 — M. PETERSEN — Über die Bedeutung von radioaktiv markiertem Sand für wasserwirtschaftliche Aufgaben. Studie Nr. 1.
- 2 — M. PETERSEN — Über die bekannten Untersuchungen zur Sandbewegung mit radioaktiven Indikatoren. Studie Nr. 2.
- 3 — H. GÖTTE und H. BECKER — Verfahren zur Oberflächenmarkierung von natürlichem Sand mit Radionukliden. — Studie Nr. 3.
- 4 — M. PETERSEN, G. SCHULZE-PILLOT und E. THOMSCHE — Entwicklung eines Sandgefäßes, eines Abschirmbehälters (als B-Verpackung) und einer Traverse zum Transport von aktivem Seesand, Studie Nr. 4.
- 5 — M. PETERSEN — Risiko und notwendige Schutzmaßnahmen bei der Isotopenanwendung. Studie Nr. 5.
- 6 — M. PETERSEN, B. BÖTTCHER und R. DOLEZAL — Meßbericht I, Ostsee. Studie Nr. 6.
- 7 — M. PETERSEN, B. BÖTTCHER und R. DOLEZAL — Meßbericht II, Nordsee, Westerland/Sylt. Studie Nr. 7.
- 8 — M. PETERSEN, B. BÖTTCHER und R. DOLEZAL — Meßbericht III, Nordsee, Kampen/Sylt. Studie Nr. 8.
- 9 — E. SEIBOLD und K. H. NACHTIGALL — Untersuchungen der Sandwanderung mit fluoreszierenden Leitstoffen in der Brandungszone. Studie Nr. 9.



Erkenntnisse verbreiten ist soviel wie Wohlstand verbreiten — ich meine den allgemeinen Wohlstand, nicht den individuellen Reichtum — denn mit dem Wohlstand verschwindet mehr und mehr das Böse, das uns aus dunkler Zeit vererbt ist.

Alfred Nobel

CDNA02167DEC

EURATOM — C.I.D.

**51 - 53, rue Belliard
BRUXELLES (Belgique)**