



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

Institut für Reaktorentwicklung

**in Zusammenarbeit mit dem
Lehrstuhl für Reaktortechnik und dem
Lehrgebiet Strahlenschutz in der
Kerntechnik, RWTH Aachen**

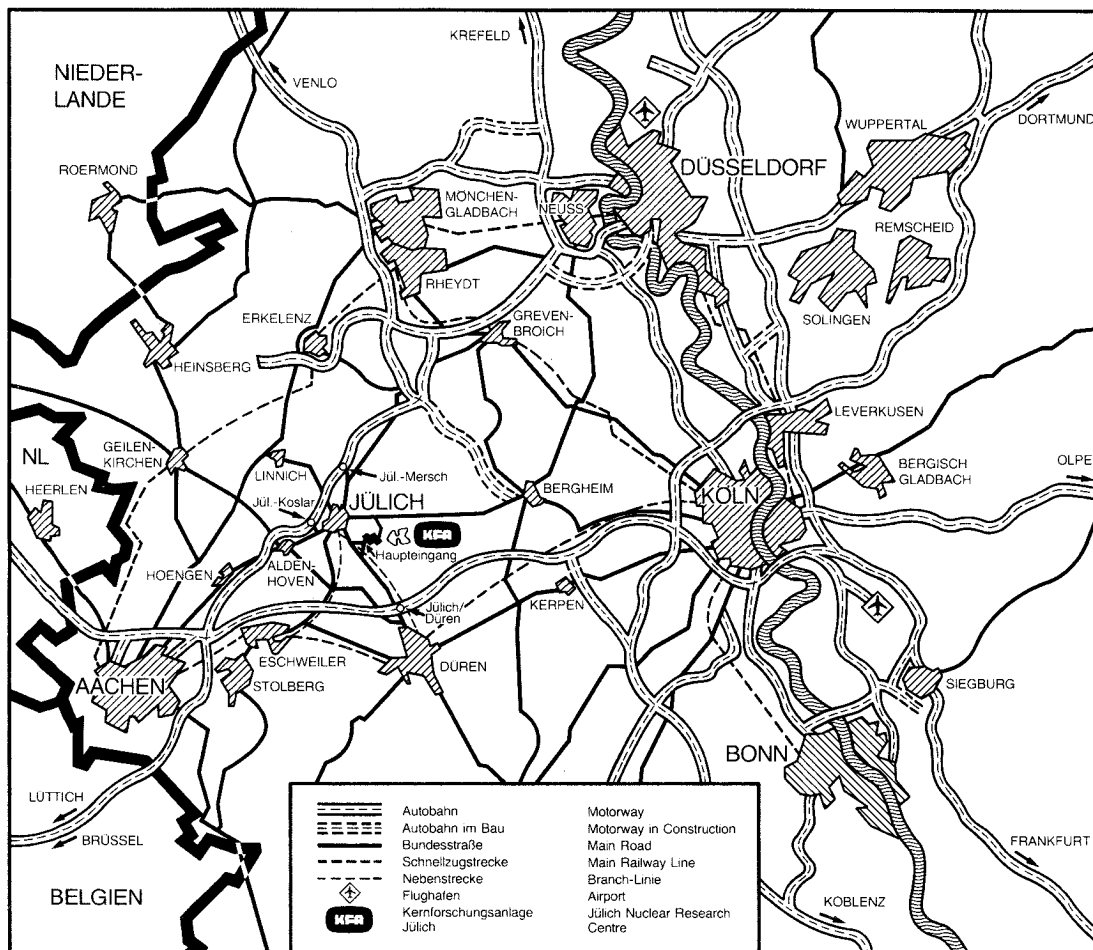
Erhöhung der Ortsdosisleistung auf den Inseln Norddeutschlands durch Schwermineralanreicherungen

von

H. Bonka

gefördert vom Bundesministerium des Innern

**Jül – 2033
Dezember 1985
ISSN 0366-0885**



Als Manuskript gedruckt

Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 2033

Institut für Reaktorentwicklung Jül – 2033

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 024 61/610 · Telex: 833 556-0 kf d

Erhöhung der Ortsdosisleistung auf den Inseln Norddeutschlands durch Schwermineralanreicherungen

von

H. Bonka

gefördert vom Bundesministerium des Innern

Enhancement of the Local Dose Rate on the Islands of Northern Germany Due to Enriched Heavy Minerals

by

Hans Bonka

ABSTRACT

At the coast of the East- and North-Frisian Islands an enrichment of heavy sand grains with high heavy mineral concentrations results from water and wind effects. The development of heavy mineral placers is known since the beginning of the last century. In the heavy grains resulting from the boulder clay of the glacial period, the U 238- and Th 232-concentrations are partly rather high. Therefore, local dose rates due to gamma radiation result which are higher than those normally measured in northern Germany. They change from year to year because of sea and wind effects. The highest measured local dose rates in approx. 1 m height have been approx. 300 mrem/a on the islands of Norderney and Sylt. On the island of Norderney the local dose rate at the surface increased up to 500 mrem/a. If the heavy mineral placers were larger, local dose rates of up to approx. 1000 mrem/a could occur in 1 m height. The highest measured specific U 238-activity was approx. 18 pCi/g and the highest measured specific Th 232-activity was approx. 30 pCi/g. Using of magnetic separators fractions with essentially higher specific activities can be separated from the sand. The ratio of the specific activities of U 238 and Th 232 in the sand of the East- and North-Frisian Islands reflect the different basic material of the sand. At the south-west coast of India where the local dose rates are very high, the same enrichment effect exists. In the sand of South-India the U 238- and the Th 232-actitivity is, however, bound at monazite (Ce, La [PO₄]) contrary to the sand at the coast of northern Germany. At the coast of the East- and North-Frisian Islands no persons live on areas with enriched heavy minerals contrary to the south-west coast of India. The received dose of the tourists is small because the residence time on the areas with enriched heavy minerals is generally short and the local dose rate is not so much enhanced.

Erhöhung der Ortsdosisleistung auf den Inseln Norddeutschlands durch Schwermineralanreicherungen

von

Hans Bonka

KURZFASSUNG

An der Küste der Ost- und Nordfriesischen Inseln findet durch Wasser- und Windeinwirkung an einigen Stellen eine Anreicherung schwerer Sandkörner mit hohen Schwermineralgehalten statt. Die Bildung von Schwermineralseifen ist seit dem letzten Jahrhundert bekannt. In den schweren Körnern, die aus dem Geschiebemergel der Eiszeit entstanden sind, sind die U 238- und Th 232-Gehalte teilweise recht hoch. Hierdurch ergeben sich lokal höhere Ortsdosisleistungen durch Gammastrahlung, als sie üblicherweise in Norddeutschland vorherrschen. Sie verändern sich durch Einwirkung der See und des Windes von Jahr zu Jahr. Die höchsten gemessenen Ortsdosisleistungen in etwa 1 m Höhe über dem Erdboden betrugen auf den Inseln Norderney und Sylt etwa 300 mrem/a. Auf dem Boden stieg die Ortsdosisleistung auf der Insel Norderney bis auf 500 mrem/a. Wären die Schwermineralanreicherungen ausgedehnter, könnten in 1 m Höhe über dem Boden Ortsdosisleistungen bis zu etwa 1000 mrem/a auftreten. Die höchste gemessene spezifische U 238-Aktivität betrug etwa 18 pCi/g und die höchste gemessene spezifische Th 232-Aktivität etwa 30 pCi/g. Mit Magnetabscheidern lassen sich aus dem Sand Fraktionen aussortieren, deren spezifische Aktivitäten wesentlich höher liegen. Das Verhältnis der verschiedenen spezifischen Aktivitäten von U 238 und Th 232 im Sand auf den Ost- bzw. Nordfriesischen Inseln spiegelt das unterschiedliche Ausgangsmaterial des Sandes wieder. Es liegt der gleiche Anreicherungseffekt vor, der an der Südwestküste Indiens zu sehr hohen Ortsdosisleistungen geführt hat. Im Sand von Südindien ist jedoch die U 238- und Th 232-Aktivität im Gegensatz zum Sand an der Küste Norddeutschlands an Monazit (Ce, La $[\text{PO}_4]$) gebunden. An der Küste der Ost- und Nordfriesischen Inseln wohnen auf Gebieten mit Schwermineralanreicherungen im Gegensatz zur Südwestküste Indiens keine Personen. Da die Aufenthaltszeit der Urlauber auf Gebieten mit Schwermineralanreicherungen im allgemeinen klein und die Ortsdosisleistung nicht so stark erhöht ist, ist die erhaltene Dosis klein.

*In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Reaktortechnik und dem Lehrgebiet Strahlenschutz in der Kerntechnik, RWTH Aachen.

Erhöhung der Ortsdosisleistung
auf den Inseln Norddeutschlands
durch Schwermineralanreicherungen

von

Hans Bonka

Diese Studie entstand im Rahmen einer Zusammenarbeit des Lehrgebiets Strahlenschutz in der Kerntechnik des Lehrstuhls für Reaktortechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen mit dem Institut für Reaktorentwicklung der Kernforschungsanlage Jülich GmbH.

Die Studie wurde vom Bundesministerium des Innern mit der Kennzahl St.Sch. 708 gefördert.

Für die erfahrene Unterstützung dieser Arbeiten möchte ich vielmals Herrn Dr. W. Reinöhl und Herrn Ministerialrat Dr. J. Mehl beim Bundesministerium des Innern danken. Bedanken möchte ich mich nochmals für die ersten Vergleichsmessungen durch Herrn Prof. Dr. H. Kautzky, Deutsches Hydrologisches Institut, Hamburg, Herrn Dr. I. Gans, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin, Herrn Prof. Dr. E. Merz, Institut für Chemische Technologie der Kernforschungsanlage Jülich, und Herrn K. Begemann von der Universität Bremen. Herrn Dr.-Ing. W.-G. Burchard möchte ich für die Analysen im Gemeinschaftslaboratorium für Elektronenmikroskopie der RWTH Aachen, Herrn Prof. Dr. H. Schmier, Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes, Neuherberg, für vergleichende Aktivitätsmessungen, Herrn Dr. U. Lauterbach und Herrn Prof. Dr. W. Kolb von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig, für die Überlassung eines Dosimeters H 7201, Herrn Dr. K. Hartmann, Institut für Chemische Technologie der Kernforschungsanlage Jülich für Sandtrennungen mit Hilfe eines Magnetabscheiders, Herrn Dipl.-Ing. J. Küppers, Herrn Dipl.-Ing. H. Holtschmidt und Herrn Dipl.-Ing. K. Hunsänger für die Hilfe bei Messungen sowie Herrn Dipl.-Ing. Th. Hattingen für die Hilfe bei Rechnungen danken.

Mein besonderer Dank gilt Frau E. Saad für die Erstellung der druckreifen Vorlage, Herrn cand.ing. E. Onur für die Fotos sowie den anderen Hilfsassistenten des Lehrgebietes Strahlenschutz in der Kerntechnik für die Erstellung der Abbildungen.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Ortsdosisleistung auf den Inseln Norddeutschlands	3
2.1 Dosisleistungsmeßgeräte	3
2.2 Meßergebnisse	4
3. Grund für die erhöhte Ortsdosisleistung an der Küste der Inseln Norddeutschlands	10
4. Ursache für die U 238- und Th 232-Anreicherung in einigen Bereichen auf den Inseln Norddeutschlands	13
5. Vergleich der Ortsdosisleistung durch Schwermineralanreicherungen an der Küste Norddeutschlands und an der Südwestküste Indiens	17
Anhang A	80
Anhang B	82
Anhang C	87
Anhang D	91
Literatur	95

1. Einleitung

Norddeutschland ist geformt durch die Gletscher der Eiszeit. In der Vereisungszone, siehe Abb. 1, liegt Gesteinsmaterial aus Skandinavien von im Durchschnitt 100 bis 150 m Mächtigkeit /Ri 37/, /Gr 37/, /Wo 74/, Abb. 5 und 19.14. Maximal betragen die Ablagerungen etwa 500 m. Durch Wasser- und Windwirkung überwiegt in der obersten Bodenschicht der Milchquarzanteil. Stellenweise liegen auf dem Boden größere kristalline Gesteine (Granit, Prophy, Gneis u.a.) vorwiegend aus Schweden, die sogenannten Findlinge. In Schleswig Holstein und dem nordöstlichen Teil Niedersachsens sind die Moränen, besonders an der Grenze zwischen Saale- und Weichsel-Vereisung, oberirdisch deutlich zu erkennen. Da die oberste Bodenschicht überwiegend aus leichtem Sandanteil mit geringen Konzentrationen von K 40, Th 232 und U 238 besteht, ist die Ortsdosisleistung durch Gammastrahlen aus dem Boden klein, siehe Abb. 2 und 4.

Die Ortsdosisleistung auf Straßen gegenüber der auf natürlichem Boden /Ko 74₁/, /Bu 78₁/, /Me78/, /Me 79/, /Cz 81/, /Bo 82₁/ ist nur dort stark unterschiedlich, wo als Straßenbaumaterial Steine mit höherer Konzentration natürlicher radioaktiver Stoffe, z.B. Granit aus dem Geschiebemergel oder importiert aus Skandinavien, verwendet wurden. Besteht der Straßenbelag z.B. aus Granitpflastersteinen, so steigen die Ortsdosisleistungen je nach Ausdehnung der Steinflächen und der spezifischen Aktivität bis auf etwa 150 mrem/a an. Es ergeben sich die gleichen Ortsdosisleistungen wie in Skandinavien, siehe Abb. 3, woher die kristallinen Steine stammen. Das gleiche Bild ergibt sich auf Plätzen, die oft aus optischen Gründen mit Granitsteinen bepflastert wurden. Die Abb. 6 zeigt z.B. den Marktplatz in Husum. Ganz ähnlich ist die Veränderung der Ortsdosisleistung in Häusern, wenn als Baumaterial kristalline Steine verwendet werden.

Eine weitere Erhöhung der Ortsdosisleistung, vor allem auf Straßen in Norddeutschland, ergibt sich durch die Verwendung von Kupferschlackensteinen aus Mansfeld in der Deutschen Demokratischen Republik. Die spezifische Ra 226-Aktivität derartiger Steine beträgt etwa 20 pCi/g, siehe Tab. 1. Die Abb. 7.1

zeigt Kupferschlackensteine. Die Ortsdosisleistungen betragen in 1 m Höhe bis zu etwa 350 mrem/a auf Straßen und Plätzen, die mit diesen Steinen belegt wurden, siehe Abb. 7.2 bis 7.4. Während diese Steine vor Ende des 2. Weltkrieges direkt von Mansfeld aus verkauft wurden, lag nach dem Ende des Krieges der Vertrieb in der Bundesrepublik Deutschland bei nur einer Firma. Die im norddeutschen Raum bis vor einigen Jahren vertriebenen Kupferschlackensteine aus Mansfeld ergeben etwa eine bedeckte Fläche von $0,18 \text{ km}^2$ /Be 80/. Die Produktion von Kupferschlackensteinen wurde in Mansfeld Mitte der 70er Jahre eingestellt. Heute werden nur noch Altbestände verwendet.

Neben dieser durch Menschenhand verursachten Erhöhung der Ortsdosisleistung und damit der Strahlenexposition des Menschen erfolgt an der Küste der Ostfriesischen und Nordfriesischen Inseln eine natürliche Erhöhung der Ortsdosisleistung durch Schwermineralanreicherungen. An der Küste Norddeutschlands sind Schwermineralanreicherungen seit dem letzten Jahrhundert bekannt /Wa 38/.

2. Ortsdosisleistung auf den Inseln Norddeutschlands

Im Jahre 1978 zeigte sich bei Dosisleistungsmessungen auf der Insel Norderney, daß die Ortsdosisleistungen am Strand in der Nähe des Dünenfußes und auf dem Kopf der Randdünen an einigen Stellen stark erhöht sind /Bo 79/, /Bo 80/, /Bo 82₁/, Abb. 12.1. Die Bereiche mit erhöhter Gammastrahlung aus dem Boden fallen durch ihre dunkle bis schwarze Färbung auf.

Um den Umfang der Ortsdosisleistungserhöhung an der Küste Norddeutschlands zu erfassen, wurde ein größeres Meßprogramm gestartet. Sowohl die Meßergebnisse in Abb. 2 als auch in Abb. 3 sind Teilergebnisse, um die verschiedenen Änderungen der Ortsdosisleistung in Norddeutschland zu dokumentieren oder die Besonderheiten in Norddeutschland zu erklären.

2.1 Dosisleistungsmeßgeräte

Die Abbildungen 8.1 bis 8.3 zeigen die verwendeten Dosisleistungsmeßgeräte. Die Kalibrierung des Dosimeters mit der NaJ(Tl)-Szintillationssonde Sz 25/64 BD und dem Ratemeter-Scaler LB 1821, Hersteller Laboratorium Prof. Dr. Berthold, Wildbad, erfolgte mit Co 60-, Cs 137-, Ra 226- und Th 228-Quellen. Das Dosimeter H 7201 der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig hat eine Kunststoffszintillationssonde. Es wurde speziell für eine umfassende Erhebung der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland im Auftrag des Bundesministers des Innern entwickelt /Ko 74₂/, /Bu 78₁/, /Cz 81/. Ein Dosimeter wurde von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt im Jahre 1980 für Parallelmessungen zur Verfügung gestellt. Das dritte Meßgerät in Abb. 8.3 ist ein Nachbau des Meßgerätes in Abb. 8.2 durch die Firma E. Halle, Braunschweig, aus dem Jahre 1980. Die Ionisierungskomponente der Höhenstrahlung wird beim Dosimeter in Abb. 8.2 zu etwa 50 % und beim Dosimeter in Abb. 8.3 zu 100 % gemessen. Die Ortsdosisleistungen wurden auf einem Punktschreiber, Hersteller Fa. Metrawatt, Nürnberg, für nachfolgende Auswertungen festgehalten. Beide Meßgeräte in Abb. 8.2 und 8.3 wurden von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braun-

schweig, geeicht. Eine Überprüfung erfolgte mit den oben angegebenen Gammaquellen. Der Nulleffekt und die Höhenstrahlungskomponente wurden in einer Bleibox gemessen. Weitere Messungen des Nulleffekts und der Höhenstrahlung wurden auf offenen Seen und anderen Orten durchgeführt.

Alle drei Meßgeräte wurden an verschiedenen Orten bei verschieden hoher Ortsdosisleistung verglichen. Die Abb. 8.4 zeigt einen Teil der Meßergebnisse. Es wurde nur der terrestrische Anteil der Anzeige verglichen, da der Nulleffekt und der gemessene Höhenstrahlungsanteil bei allen drei Meßgeräten unterschiedlich ist. Mit der NaJ(Tl)-Szintillationssonde Sz 25/64 BD wird die Höhenstrahlung praktisch nicht gemessen. Die Übereinstimmung der Anzeigen ist gut. Die Energieabhängigkeit der Anzeige beim Szintillationsdosimeter H 7201 ist in /Ko 74₂/, /Bu 78₁/ dargestellt. Sie ist oberhalb einer Photonenenergie von 30 keV praktisch konstant. Die Dosisbeiträge in den einzelnen Energieintervallen durch U 238 und die Zerfallsprodukte, durch Th 232 und die Zerfallsprodukte sowie K 40 sind in Anhang C, Abb. C1, angegeben.

Die Umrechnung der Ionendosis in Äquivalentdosis erfolgte mit dem Umrechnungsfaktor 0,96 rem/R. Der Umrechnungsfaktor ergibt sich aus dem mittleren Energieaufwand zur Bildung eines Ionenpaares in der Luft von etwa 33,7 eV, der Anzahl der Ionenpaare pro g Luft bei einem Röntgen ($1,61 \cdot 10^{12}$) und den um etwa den Faktor 1,1 höheren Massen-Energieabsorptionskoeffizienten im Gewebe zu dem in Luft bei dem mittleren natürlichen Gammaskpektrum, siehe /Bo 82₂/.

2.2 Meßergebnisse

Auf der Abb. 9 sind die Ostfriesischen und Nordfriesischen Inseln angegeben, auf denen detaillierte Ortsdosisleistungsmessungen durchgeführt wurden. Da an der Küste der Ostsee der Bundesrepublik Deutschland nach Einzelmessungen um Eckernförde und auf der Insel Fehmarn sowie um Grenå in Dänemark, s. Abb. 3, nicht die Voraussetzungen für größere Schwermineralanreicherungen vorliegen, wurde der Ostseestrand nicht detailliert begangen. Das Gebiet mit Schwermineralanreiche-

rungen am Strand südlich von Grenå, s. Probe Gr 2 in Tab. 1, war gegenüber den Gebieten auf den Inseln Norddeutschlands klein. Auch an der Nordküste zum Festland mit den umfangreichen Deichanlagen liegen keine Voraussetzungen für größere Schwermineralanreicherungen vor.

Die Abbildungen 10.1 bis 19.35 zeigen die wichtigsten Meßergebnisse. Daneben wurden zur Dokumentation, und um dem Außenstehenden einen optischen Eindruck zu vermitteln, die meisten Orte mit Schwermineralanreicherungen in Bildern festgehalten.

Auf der Insel Borkum ist die Ortsdosisleistung durch terrestrische Strahlung ganz ähnlich wie auf dem Festland, siehe Abb. 2 und 10.1. Im Jahre 1979 gab es eine geringe Schwermineralanreicherung am Nordstrand. In /Ko 82/ wird, angeregt durch frühere Veröffentlichungen /Bo 79/, /Bo 80/, von einer Messung der spezifischen Aktivität an 3 Proben von den Inseln Borkum und Ameland, Niederlande, berichtet. Die Probe von der Insel Borkum hatte eine spezifische U 238-Aktivität von 6,4 pCi/g, eine spezifische Th 232-Aktivität von 6,4 pCi/g und eine spezifische K 40-Aktivität von 9,1 pCi/g und die von der Insel Ameland mit höherer Aktivität eine spezifische U 232-Aktivität von 4,5 pCi/g, eine spezifische Th 232-Aktivität von 4,7 pCi/g und eine spezifische K 40-Aktivität von 9,8 pCi/g. Die spezifischen Aktivitäten sind ganz ähnlich wie im Sand mit Schwermineralanreicherungen auf den anderen Ostfriesischen Inseln in der Bundesrepublik Deutschland, siehe z.B. Ju 6 in Tab. 1.

Etwas ausgedehnter waren die Schwermineralanreicherungen am Weststrand beim Naturschutzgebiet auf der Insel Juist im Jahre 1979, siehe Abb. 11.1. Die Abbildungen 11.2 bis 11.11 zeigen das Gebiet mit Schwermineralanreicherungen. Die höchsten spezifischen Aktivitäten sind dort, wo der Sand am dunkelsten gefärbt ist. Die Ortsdosisleistung schwankt auch auf engstem Raum sehr stark. Dies deutet auf eine sehr inhomogene Schwermineralanreicherung hin. In Anhang A ist z.B. der berechnete Ortsdosisleistungsverlauf normiert auf den Maximalwert in der Mitte einer 5m x 5m, 10m x 10m und 100m x 100m Bodenschicht verschiedener Dicke

dargestellt. In der Bodenschicht wurde eine homogene Gammaquelle von 0,5 MeV angenommen. Bei einer Ausdehnung von 10m x 10m erniedrigt sich z.B. die Ortsdosisleistung in Bezug auf den Maximalwert am Rand des Quellvolumens um etwa 50 %. Die spezifischen Aktivitäten von Sandproben, die an verschiedenen Orten genommen wurden, sind in Tab. 1 aufgeführt. Da die Gebiete mit Schwermineralanreicherungen sowohl in der Fläche als auch in der Tiefe nicht gleichmäßig groß ausgedehnt sind, liegen die berechneten Ortsdosisleistungen, siehe 8. Spalte in Tab. 1, bei Annahme einer im Boden vorhandenen unendlich ausgedehnten homogenen spezifischen Aktivität, s. Anhang C, höher als die gemessenen Ortsdosisleistungen, siehe Abb. 11.1. Hätte der Bereich der Schwermineralanreicherung einen Durchmesser von etwa 200 m und eine Tiefe von 0,5 m, so wäre in der Mitte der Kreisfläche die Ortsdosisleistung in 1 m Höhe etwa 80 % des theoretisch berechneten Wertes bei unendlicher Ausdehnung /Bo 82₂/.

Auf der Insel Norderney, auf der die Ortsdosisleistungserhöhung durch Schwermineralanreicherungen im Jahre 1978 während der Tagung des Fachverbandes für Strahlenschutz /Bo 80/ zum ersten Mal gemessen wurde, konnte die Entstehung einer Schwermineralanreicherung am Dünenfuß durch Abtragen eines Teils der Düne und der Wegtransport durch die angreifende See beobachtet werden, siehe Abbildungen 12.1 bis 12.20. Die Abbildungen 12.1 und 12.2 zeigen die gemessenen Ortsdosisleistungsverläufe. Die maximalen Ortsdosisleistungen stiegen von 1978 bis 1980 an. Danach wurde ein großer Dünenbereich zwischen den Punkten B und C in Abb. 12.1 weggeschwemmt, s. Abbildungen 12.19 und 12.20 im Vergleich zu den Abbildungen 12.5, 12.13 und 12.14. Die Schwermineralanreicherung nahe des Punktes B verschwand und am Punkt C baute sie sich durch die Meeresströmung in östlicher Richtung weiter auf. Die Abb. 12.2 und der Anhang B zeigen, daß im Jahre 1980 nicht nur am Strand Schwermineralanreicherungen vorhanden waren, sondern auch in den Dünen. Zu erkennen ist das deutlich in den Abbildungen 12.7 bis 12.10 an den dunklen Streifen mit hohen Schwermineralanreicherungen in der Randdüne. Die Schichten wurden durch die angreifende See freigelegt. Die schweren Sandkörner bleiben bevorzugt auf dem Strand liegen. Mit der Strömungsrichtung des Wassers und der Vorzugswindrichtung von West nach Ost ergibt sich am

Strand ein Schleier mit Schwermineralanreicherungen in östlicher Richtung, siehe Abbildungen 12.15 und 12.18. Der Bereich in den Abb. 12.17 und 12.18 in der Nähe des Übergangs zum Lokal Weiße Düne liegt etwa 200 bis 300 m in östlicher Richtung von dem Gebiet entfernt, an der im Jahre 1980 der Dünenabtrag durch die angreifende See aufhörte. In welchem Maße die Randdüne durch die See in einem Jahr von 1979 bis 1980 abgetragen wurde, zeigen die Abbildungen 12.5, 12.13 und 12.14. Während die letzte Buhne in östlicher Richtung auf der Insel Norderney in Abb. 12.5 noch im Sand verdeckt ist, ist die Buhne in den Abbildungen 12.13 und 12.14 im Jahre 1980 frei. Im Jahre 1984 war ein großer Dünenbereich weggeschwemmt, s. Abb. 12.19. Die Abbildungen 12.3 und 12.4 zeigen den Ort, an dem im Jahre 1978 zum ersten Mal die Ortsdosisleistungserhöhung durch Schwermineralanreicherungen festgestellt wurde. In Abb. 12.9 ist der Ort zu sehen, an dem die höchste Ortsdosisleistung bei allen Messungen festgestellt wurde, siehe Abbildungen 8.1 und 8.2. An der Oberfläche ist eine helle Sandschicht. Danach folgen zwei etwa 5 cm dicke dunkle Sandschichten. In etwa 30 cm Tiefe ist wieder normaler weißer Sand. Wäre die dunkle Schicht, von der eine Probe genommen wurde, siehe No 4 in Tab. 1, unendlich ausgedehnt, so wäre in 1 m Höhe die Ortsdosisleistung etwa 900 mrem/a. Gemessen wurde in 1 m Höhe eine maximale Ortsdosisleistung von 320 mrem/a und auf dem Boden eine von 500 mrem/a.

Im Jahre 1979 wurden am Strand der Insel Baltrum keine Schwermineralanreicherungen festgestellt, siehe Abb. 13.1. Am Strand war die Ortsdosisleistung im windgetrockneten Bereich wie auf den anderen Inseln etwa 15 mrem/a. Wegen der stärkeren Abschirmung durch Feuchtigkeit nimmt die Ortsdosisleistung zum Wasser hin ab. In der Nähe des Wassers beträgt die Ortsdosisleistung etwa 12 mrem/a.

Die Abnahme der Ortsdosisleistung am Strand der Insel Langeoog von 1979 bis 1980, siehe Abb. 14.1, deutet auf den Abbau einer Schwermineralanreicherung am Strand hin. In den Abbildungen 14.2 und 14.3 sind deutlich dunkle Streifen mit Schwermineralanreicherungen zu erkennen.

Am Strand der Insel Spiekeroog gab es in den Jahren 1979 und 1980 zwei kleinere Gebiete mit Schwermineralanreicherungen, s. Abb. 15.1. Wie aus den Abbildungen 15.2 und 15.3 zu erkennen ist, wurde im Jahre 1980 auf der Nordseite die Randdüne ganz ähnlich abgetragen wie die Randdüne auf der Insel Norderney in den Jahren 1979 und 1980, siehe Abbildungen 12.7 bis 12.20.

Kleinere Schwermineralanreicherungen zeigten sich in den Jahren 1979 und 1980 am Strand der Insel Wangerooge, siehe Abbildungen 16.1 bis 16.10. Da kein Randdünenabtrag vorliegt, sind die Ausdehnungen der Schwermineralanreicherungen klein. Ganz offensichtlich handelt es sich auf der Insel Wangerooge um die Reste einer größeren Schwermineralanreicherung nach Dünenabtrag durch die See.

Wie auf der Insel Baltrum wurden im Jahre 1980 auf der Insel Amrum und Föhr keine Schwermineralanreicherungen am Strand der Inseln festgestellt, siehe Abb. 17.1 und 18.1. Am trockenen Strand der Insel Amrum ist die Ortsdosisleistung mit 15 mrem/a genau so hoch wie am Strand ohne Schwermineralanreicherungen auf den anderen Inseln.

Auf der Insel Sylt gab es in den Jahren 1978 bis 1980 zwei interessante Stellen mit Schwermineralanreicherungen und zwar am Strand von Westerland und im Norden in Höhe des Erholungsheimes Klappholtal, siehe Abb. 19.1. Am Strand von Westerland wurde zur Inselsicherung künstlich Sand angespült. Die Abb. 19.10 zeigt den nachfolgenden Abtrag des künstlich angespülten Sandes durch die angreifende See. Beim Abtrag häufen sich die schwereren Sandkörner, d.h. die Schwermineralanreicherungen, an der Oberfläche an, siehe Abbildungen 19.8 bis 19.13. Obwohl die Schichten nur etwa 1 cm dick sind, ergeben sich aufgrund der höheren Uran- und Thoriumkonzentrationen deutlich höhere Ortsdosisleistungen, siehe Abb. 19.1. Im Norden der Insel in Höhe des Erholungsheimes Klappholtal zeigte sich im Jahre 1980 ein Gebiet mit einer ähnlich hohen Schwermineralanreicherung wie auf der Insel Norderney, siehe Abb. 19.1 und Abbildungen 19.17 bis 19.25. In Abb. 19.18 sind in der Randdüne deutlich durch Windangriff freigelegte Lagen mit Schwermineralanreicherungen zu erkennen. Sehr schön zeigt sich in Abb. 19.19 die Bildung

einer Schwermineralanreicherung in den Dünen in einem windstillen Bereich. In den Strandburgen auf Abb. 19.21 und Abb. 19.22 sind wieder die dunklen Schichten am Strand nach Abtrag der Randdüne wie in Abb. 12.9 auf der Insel Norderney zu erkennen. Das gleiche Bild zeigte sich bei den Strandburgen am Strand von Rantum im Süden der Insel, siehe Abbildungen 19.26 bis 19.28. Eine ausgedehnte oberflächliche Schwermineralanreicherung zeigte sich im Jahre 1980 am Strand von Hörnum, siehe Abbildungen 19.30 bis 19.35. Im Jahre 1978 konnte am Strand nördlich von Hörnum deutlich die Auflösung einer größeren Schwermineralanreicherung am Strand beobachtet werden, siehe Abbildungen 19.2 bis 19.7. Die Abb. 19.5 zeigt mehrere dunkle Schichten. Ein sehr schönes Bild ergibt sich, wenn am Strand bei Ebbe abfließendes Wasser dunkle Schichten mit Schwermineralanreicherungen, die zwischen hellen liegen, freilegt, siehe Abb. 19.6. Im Dezember 1985 gab es im nördlichen Küstenbereich etwa von den Punkten H bis I in Abb. 19.1 ein großes, dunkel gefärbtes Gebiet mit Schwermineralanreicherungen. Messungen wurden nicht durchgeführt.

3. Grund für die erhöhte Ortsdosisleistung an der Küste der Inseln Norddeutschlands

Von den verschiedenen Orten mit und ohne Ortsdosisleistungserhöhungen wurden Sandproben genommen, s. Tab. 1. Die Proben wurden mit der in Abb. 20 gezeigten Anordnung gammaspektrometrisch untersucht. Der Detektor ist ein einseitig geschlossener koaxialer Reinstgermanium-Detektor der Firma Princeton Gamma-Tech GmbH (PTG), Wiesbaden, mit einem Durchmesser und einer Höhe von je 45 mm, einer Energieauflösung von 2,2 keV bei 1,33 MeV Gammastrahlung und einem Wirkungsgrad von 12,1 % bezogen auf den eines 3 x 3 Zoll NaJ(Tl)-Detektors. Die Impulse können mit einem tragbaren 1018-Kanal Vielkanalanalysator BS 27/N der Firma Silena, Mailand, oder einem 8292-Kanal Vielkanalanalysator Baureihe 80 der Firma Canberra, Frankfurt, analysiert werden.

Die Abb. 21 zeigt das Gammaspektrum der Proben No 1, No 2 und Sy 10 in Tab. 1. Aus den beiden oberen Spektren von einer hellen und dunklen Sandprobe, die zum gleichen Zeitpunkt von zwei Orten, die nur etwa 50 m auseinander lagen, genommen wurden, wird sofort deutlich, daß in der dunklen Sandprobe die natürlichen Zerfallsprodukte von U 238 und Th 232 um etwa einen Faktor 100 gegenüber den in der hellen Sandprobe angereichert sind. Bei der Probe Sy 10 ist das Verhältnis der spezifischen Aktivität von Th 232 zu der von U 238 größer als bei der Probe No 1. Im dunklen wie im hellen Sand sind die Zerfallsprodukte im Gleichgewicht. Es zeigen sich keine Linien des Atomwaffenfallouts, der Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen wie der Wiederaufarbeitungsanlage Cap la Hague, Frankreich, und Sellafield (Windscale), Großbritannien /Bu 75/, oder von wissenschaftlichen Untersuchungen über die Sandbewegungen mit Cr 51 oder Sc 46 /Ro 77/, /Bu 69/, /Bu 78₂/.

Die Tab. 1 zeigt die gemessenen spezifischen Aktivitäten von U 238 und die Folgeprodukte, von Th 232 und die Folgeprodukte sowie von K 40 in den verschiedenen Sandproben. In die Tabelle wurden zum Vergleich auch einige Gesteinsproben aus der Moräne von Sylt und einige Boden- und Gesteinsproben aus Schleswig

Holstein und Niedersachsen aufgenommen. Hiernach beträgt in der Probe No 1 die spezifische Aktivität von U 238 18 pCi/g, von Th 232 12 pCi/g und von K 40 1,2 pCi/g, in der Probe No 2 die spezifische Aktivität von U 238 0,1 pCi/g, von Th 232 0,15 pCi/g und von K 40 1,7 pCi/g und in der Probe Sy 10 die spezifische Aktivität von U 238 11 pCi/g, von Th 232 28 pCi/g und von K 40 2 pCi/g. Von der Probe No 1 und No 2 sind in /Bo 80/ Vergleichsmessungen anderer Labors aufgeführt. Die Probe Sy 13, Granitsteinchen aus der Moräne in Sylt, hat z.B. eine spezifische U 238-Aktivität von 0,6 pCi/g, eine spezifische Th 232-Aktivität von 1,4 pCi/g und eine spezifische K 40-Aktivität von 30 pCi/g. Im dunklen Sand ist also U 238 und Th 232 angereichert. Die höchste gemessene spezifische U 238-Aktivität betrug 18 pCi/g, siehe Probe No 4, und die höchste spezifische Th 232-Aktivität 28 pCi/g, siehe Probe Sy 10.

Wären die Sandschichten mit den gemessenen spezifischen Aktivitäten unendlich ausgedehnt, so ergäben sich in 1 m Höhe über dem Erdboden die in der drittletzten Spalte angegebenen Ortsdosisleistungen. Bei der Dosisleistungsberechnung wurde von den in Anhang C berechneten Dosisfaktoren für U 238 und die Zerfallsprodukte, für Th 232 und die Zerfallsprodukte und für K 40 ausgegangen. Die gemessenen Ortsdosisleistungen an den verschiedenen Orten, an denen die Proben genommen wurden, liegen niedriger, siehe Kap. 2.2, Abb. 11.1, 12.1, 14.1, 15.1, 16.1 und 19.1. Die spezifischen Aktivitäten der hellen Sandproben, die an der Oberfläche genommen wurden, liegen ganz offensichtlich niedriger als im Mittel über größere Sandpartien. Im allgemeinen wurde am Strand mit hellem Sand eine Ortsdosisleistung von 15 mrem/a gemessen. Dieser Wert ist höher als der berechnete Wert nach der spezifischen Aktivität z. B. der Probe No 2. Hier liegt wahrscheinlich eine weitere Entmischung des Sandes vor, siehe Kap. 4. An der Ostspitze der Insel Juist stimmen Ortsdosisleistungsmessung und Rechnung nach der spezifischen Aktivität überein, siehe Abb. 11.1 und Probe Ju 2 und Ju 3 in Tab. 1.

Interessant ist das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von U 238 und Th 232, siehe vorletzte Spalte in Tab. 1. Es ist bei den Ostfriesischen Inseln

größer als bei den Nordfriesischen Inseln. Dies deutet darauf hin, daß der Sand bei den Ostfriesischen Inseln aus einem anderen Gestein entstanden ist als der Sand bei den Nordfriesischen Inseln, s. Abb. 1. Aus den Messungen der spezifischen Aktivität verschiedener Proben aus Skandinavien, s. Anhang D, fällt auf, daß ein Großteil der Proben mit kristallinem Gestein oder Sand aus Götaland und dem Gebiet nahe der Norwegischen Grenze kleinere Verhältniszahlen als 1 haben. Die Verhältniszahlen sind jedoch nicht so klein wie bei mehreren Proben von Sylt, s. Tab. 1.

Um die Bindung der Radionuklide der U 238- und Th 232-Zerfallsreihe in den einzelnen Körnern zu untersuchen, wurde von dem dunklen Sand Sy 20 in Tab. 1 182 g Sand in 119 g 25 %-er Salzsäure 24 h bei 20 °C gelöst. In der Salzsäure wurden 46 pCi U 238 und die nachfolgenden Zerfallsprodukte, 114 pCi Th 232 und die nachfolgenden Zerfallsprodukte und 118 pCi K 40 gelöst. Danach wurden aus dem Sand ca. 3,9 % der Radionuklide der U 238-Zerfallsreihe, ca. 5,5 % der Radionuklide der Th 232-Zerfallsreihe und ca. 24 % des K 40 gelöst. Da die Sandprobe nicht gewaschen wurde, ist ein geringer Teil der K 40-Aktivität auf Kalium aus dem Meerwasser zurückzuführen. Im Wasser der Nordsee beträgt die spezifische K 40-Aktivität ca. 330 pCi/g /Au 74/.

4. Ursache für die U 238- und Th 232-Anreicherung in einigen Bereichen auf den Inseln Norddeutschlands

Fragt man nach dem physikalischen Grund für die erhöhte natürliche Strahlung an einigen Stellen an der Küste der Norddeutschen Inseln, so fällt sofort die hohe Dichte des dunklen Sandes gegenüber dem hellen Sand auf. Während der getrocknete helle Sand von Probe No 2 eine Dichte von $2,1 \text{ g/cm}^3$ hat, beträgt z.B. die Dichte des trockenen dunklen Sandes von Probe No 1 3 g/cm^3 .

Die Abb. 22.1 zeigt ein Foto des dunklen Sandes No 1 in Tab. 1 und die Abb. 22.2 ein Foto des hellen Sandes No 2 in Tab. 1. Unter dem Mikroskop sieht der dunkle Sand wie in Abb. 22.3 und ein etwas hellerer Sand wie in Abb. 22.4 aus. Im dunklen Sand gibt es Körner, die wasserhell, gelb, rosa, rot, grün, hellbraun, braun und schwarz aussehen. Die Häufung der schwarzen und dunkel gefärbten Körner geben dem dunklen Sand die auffällige Färbung. Im hellen Sand überwiegt nur die Zahl der hellen Sandkörner. Ein Teil der schwarzen Körner läßt sich mit einem Hufeisenmagneten aussondern. Die Dichte dieser Körner wurde mit einem Pyknometer zu $4,1 \text{ g/cm}^3$ bestimmt. Einige Sandkörner haben eine Dichte über 5 g/cm^3 . Im Vergleich hierzu beträgt die Dichte des hellen Sandes, der praktisch nur aus Milchquarz besteht, $2,6 \text{ g/cm}^3$.

Aufschluß über die Zusammensetzung des dunklen und hellen Sandes gibt eine Röntgenfluoreszenzanalyse, die im Gemeinschaftslaboratorium für Elektronenmikroskopie der RWTH Aachen angefertigt wurde, siehe Abb. 23. Während der helle Sand praktisch nur aus Silizium besteht, enthält der dunkle Sand neben Silizium vor allem Eisen und Titan. Daneben befinden sich noch Aluminium, Calcium, Mangan und vor allem Zirkon in der dunklen Sandprobe. Im dunklen Sand gibt es also einen hohen Anteil von Schwermineralien.

Die Verteilung der einzelnen Elemente ist jedoch nicht gleichmäßig. Die Abbildungen 24.2 bis 24.5 zeigen die Verteilung von Silizium, Eisen, Calcium und Titan bei den Sandkörnern in Abb. 24.1. Es wurden von links oben nach rechts

unten Zeile für Zeile die Körner mit dem Elektronenstrahl überfahren und nach den Elementen abgesucht. War ein Kanal voll, so wurde ein Punkt gesetzt. Eine Häufung von Punkten bedeutet also, daß hier das Element in hoher Konzentration vorliegt.

Um die Elemente, vor allem Uran und Thorium, weiter zu lokalisieren, wurde ein Teil der Probe No 1 und Sy 4 in Tab. 2 mit einem isodynamischen Magnetabscheider der Firma Frantz & Co. am Institut für Chemische Technologie der Kernforschungsanlage Jülich, s. Abb. 25.1 und 25.2, /Ga 43/, /Mc 57/, /Fl 59/, /Ha 79/ getrennt. In der Tab. 2 sind die Gewichtsanteile des ferromagnetischen Anteils, des nach Stromstärke unterteilten paramagnetischen Anteils und des diamagnetischen Anteils aufgeführt. Daneben sind die gemessenen spezifischen U 238- und Th 232-Aktivitäten aufgeführt. Beim paramagnetischen Anteil zeigt sich mit steigender Stromstärke des Magnetabscheiders eine steigende spezifische U 238- und Th 232-Aktivität. Bei der Probe Sy 4 hat der mit einer Stromstärke von 1,5 A separierte paramagnetische Anteil eine spezifische U 238-Aktivität von 300 pCi/g und eine spezifische Th 232-Aktivität von 1400 pCi/g. Alle 6 bzw. 7 Fraktionen haben unterschiedliche Färbung, siehe Tab. 2. Bei der Probe No 1 ist die Dichte des trockenen ferromagnetischen Anteils $4,4 \text{ g/cm}^3$, des paramagnetischen Anteils, der mit einer Stromstärke von 0,3 A separiert wurde, $4,2 \text{ g/cm}^3$, des mit 0,6 A separierten $3,5 \text{ g/cm}^3$, des mit 0,7 A separierten $5,8 \text{ g/cm}^3$, des mit 0,1 A separierten $3,5 \text{ g/cm}^3$ und des restlichen diamagnetischen Anteils $2,3 \text{ g/cm}^3$.

Von allen 6 Fraktionen der Probe No 1 in Tab. 2 wurde eine Röntgenfluoreszenzanalyse im Gemeinschaftslaboratorium für Elektronenmikroskopie der RWTH Aachen gemacht. Die Abb. 26 zeigt die Flächenanalyse und die Abbildungen 27.1 bis 27.6 die Elementverteilung bei den verschiedenen Körnern.

Um das Uran und Thorium weiter zu lokalisieren, wurden einzelne Körner analysiert. Die Abb. 28 zeigt die Zusammensetzung eines Monazit-Kornes ($\text{Ce} [\text{PO}_4]$), das im paramagnetischen Anteil bei einer Stromstärke von 1 A gefunden wurde. Daneben wurden Körner, die praktisch nur aus Zirkonsilicat bestehen, gefunden,

siehe z.B. Abb. 29. Diese Zirkonsilicatkörner haben höhere Uran- und Thoriumkonzentrationen /Ra 55/, /Ba 72/, Po 76/. Die Abb. 30 zeigt z.B. eine Durchlichtaufnahme eines 30 µm dicken Granit-Scheibchens, in dem sich in der Mitte ein Zirkoniumsilicat-Kristall (ZrSiO_4) befindet, siehe /De 80/.

Nach diesen Analysen besteht der ferromagnetische Anteil aus Magnetit (Fe_3O_4), Ilmenit (FeTiO_3) und Chromit (Cr_2FeO_4) /La 38/, /Lu 77/. Im paramagnetischen Anteil sind im wesentlichen enthalten: Titanit ($\text{CaTiO}[\text{SO}_4]$), die Titanminerale (TiO_2) Rutil, Anatas, Brookit und Leukoxen, Zirkonsilikat (ZrSiO_4) mit Einschlüssen von Hafnium, Uran, Thorium sowie Yttrium /Lu 77/ und Monazit.

Man stellt also fest, daß die höheren Uran- und Thoriumkonzentrationen sich vor allem in Sandkörnern mit höherer Dichte als die von Milchquarz befinden. Diese höhere Dichte ist Hauptgrund für die Schwermineralanreicherungen.

Die Anreicherung von Schwermineralien in den sogenannten Erzseifen an der Küste Norddeutschlands ist seit dem letzten Jahrhundert bekannt /Wa 38/. Von v. Engelhardt /En 38/ wird theoretisch beschrieben, wie eine Wasser- bzw. Windsortierung der Sande zustandekommt. Er unterscheidet zwischen Schweben, Rollen und Springen der Sandkörner. Bei schwebender Partikelverfrachtung fallen bei Abnahme der Geschwindigkeit zunächst die schweren Partikel aus, s. Abb. 19.19. Erfolgt dies wegen Strömungsumlenkung über einen langen Zeitraum, so erfolgt eine Trennung von leichten und schweren Partikeln. Auch bei einer reibenden Fortbewegung, die in /En 38/ mit Rollen bezeichnet wird, ist die Reibkraft eine Funktion vom Partikelgewicht. Es erfolgt eine Ordnung der Körner nach dem Reibwiderstand bei der Bewegung. Hierauf ist auch zurückzuführen, daß in der Regel die dunklen Partikel kleiner sind als die hellen. Bei einem spezifischen Gewicht von 5 g/cm^3 für Magnetit und $2,5 \text{ g/cm}^3$ für Quarz ist im Gleichgewicht das Radiusverhältnis $r_{\text{Quarz}}/r_{\text{Magnetit}} \approx 2$, siehe /En 38/. Meist beobachtet man eine springende Fortbewegung der Sandkörner, die als Überlagerung von Schweben und Rollen angesehen werden kann. Die Sortierung in leichtere und schwerere Fraktionen wurde auch von Scheidhauer /Sc 38/ an den Sanden des Elbsandsteingebirges festgestellt.

Die Entmischung eines dunklen Sandes beim Herabrollen auf einer schiefen Ebene zeigt Abb. 31.1. Sehr schön ist die Entmischung auch zu sehen, wenn Sand auf einem Papier geschüttelt wird und das Papier ruckartig hin und her bewegt wird, siehe Abb. 31.2.

Die Entstehung von Schwermineralseifen an der Küste Norddeutschlands kann man sich danach wie folgt vorstellen: Im Wasser erfolgt durch die oben beschriebenen Vorgänge die erste Aufkonzentrierung. Eine weitere Konzentrierung erfolgt in der Düne durch Windeinfluß, siehe Abb. 32 und Abb. 19.19. Aufgrund der unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen bilden sich in der Düne Nester aus, in denen die schweren Partikel angereichert sind. Nach Wasmund /Wa 38/ erfolgt die Lagerstättenbildung durch Seegangseinwirkung, bei der die Vordüne abgetragen wird, siehe Abbildungen 12.5 bis 12.16 und Abb. 15.2. Hierbei werden die leichteren Partikel weggeschwemmt, während die Schwerminerale liegen bleiben. Die Anreicherung von Schwermineralien ohne vorherige Bildung einer Düne zeigen die Abbildungen 19.8 bis 19.13.

Die erste größere Bestandsaufnahme der Schwermineralseifen erfolgte 1938, siehe /Wa 38/ und /La 38/. Es wurden Schwermineralseifen auf den Inseln Borkum, Juist, Norderney, Baltrum, Langeoog, Wangerooge, Amrum und Swinemünde sowie bei Groß Möllen (Ostpommern), an der Samlandküste (Ostpreußen) und an der Kurischen Nehrung (Ostpreußen) gefunden /La 38/. Eine zweite Erkundung im Bereich des niedersächsischen Küstenraumes und der Deutschen Bucht erfolgte in den Jahren 1971 bis 1977 /Lu 77/. Es wurden jedoch die Schwermineralanreicherungen an den Küsten ausgeklammert, da man der Meinung war, daß wegen des großen Freizeitwertes der Strände ein Abbau der Schwerminerale dort nicht möglich sei. Ein Abbau kommt wahrscheinlich auch aus Küstenschutzgründen nicht in Frage /Ba 41/. Die Abb. 33 zeigt nach Ludwig /Lu 77/ die Gebiete vor den Ost- und Nordfriesischen Inseln, in denen eine Schwermineralanreicherung von größer als 2 % gemessen wurde.

5. Vergleich der Ortsdosisleistung durch Schwermineralanreicherungen an der Küste Norddeutschlands und an der Südwestküste Indiens

Ähnlich wie an der Küste Norddeutschlands findet an der Südwestküste von Kerala und Tamil Nadu in Indien auf einer Küstenlänge von etwa 160 km, s. Abb. 34, eine Anreicherung schwerer Sandkörner unter dem Einfluß der Wasserströmung und des Windes statt. Es bildeten sich im Laufe der Zeit Zonen mit erhöhter natürlicher Strahlung von etwa 200 m Breite aus, s. Abb. 35.1, 37.1 und 38.1. Die Erhöhung der natürlichen Strahlung wird im wesentlichen durch die Anreicherung von Monazit-Körnern im Sand hervorgerufen.

Im Anschluß an das zweite "Special Symposium on Natural Radiation Environment" in Bombay, Indien, im Jahre 1981 bestand für den Autor die Möglichkeit zur Besichtigung der Strände mit erhöhter natürlicher Strahlung an der Südwestküste Indiens und zur Messung der Strahlenexposition. Die Abb. 35.1 zeigt den gemessenen Verlauf der Ortsdosisleistung am Strand von Kovalam Beach in der Nähe von Trivandrum. Die Messung erfolgte mit dem Dosimeter H 7907 mit Kunststoffszintillationssonde SzS 908 der Firma Halle, s. Abb. 8.3. Der Meßbereich beträgt 0 bis 300 $\mu\text{R/h}$. Aus diesem Grunde konnten Werte oberhalb von 2500 mrem/a nicht erfaßt werden. Die Ortsdosisleistung am Strand von Kovalam Beach ist wesentlich höher und großflächiger als auf den Inseln Norddeutschlands, siehe z.B. Abb. 12.1 und 12.2. Die Abb. 35.2 bis 35.7 zeigen den Sandstrand. Eine Sandprobe von einer sehr dunklen Stelle, s. Ke 1 in Tab. 3, hat eine spezifische U 238-Aktivität von 70 pCi/g und eine Th 232-Aktivität von 400 pCi/g. Bei größerer Ausdehnung des sehr dunklen Bereichs betrüge die Ortsdosisleistung etwa 11 rem/a. Die starke Anreicherung zeigt sich deutlich anhand der spezifischen Aktivität der hellen Sandprobe Ke 2 in Tab. 3. Zwei Gneisgesteinsproben (Charnockit) vom Strand in Kovalam Beach, s. Proben Ke 9 und 10 in Tab. 3, haben ganz ähnliche spezifische Aktivitäten wie Granitsteine in Norddeutschland und Skandinavien - das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von U 238 zu Th 232 ist jedoch kleiner, s. Tab. 1 und Tab. D1 in Anhang D. Nach mündlicher Auskunft der Indian Rare Earth Ltd, Minerals Division, Manavalakurichi, Tamil

Nadu, soll noch nicht ganz klar sein, woher der Monazit kommt. An der Mündung zweier Flüsse zeigen sich deutliche Anreicherungszone. Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von U 238 zu Th 232 der beiden Charnockit Ke 9 und Ke 10 in Tab. 3 ist aber ähnlich wie das der Sandproben mit Schwermineralanreicherungen. Dies deutet darauf hin, daß der Gneis in Kerala und Tamil Nadu Ausgangsmaterial des Sandes an der Südwestküste Indiens ist. Die Aufkonzentrierung der schwereren Körner erfolgt im wesentlichen durch die große Meeresströmung, s.z.B. Abb. 35.2 bis 35.6, vor allem zur Monsunzeit.

Zwei Proben vom Strand in Manavalakurichi, wo die Indian Rare Earth Ltd. eine Fabrik zur Erzgewinnung betreibt, zeigen ganz ähnliche Anreicherungen wie die Proben von Kovalam Beach, s. Tab. 3. Die Anreicherungszone mit den hohen spezifischen Aktivitäten sollen teilweise 40 m breit und 7 m dick sein. Dosismessungen des Bhabha Atomic Research Centre (BARC) sind in /Pa 82/ zusammengefaßt. In einer durch Wind verfrachteten Sandprobe Ke 3, s. Abb. 36.1, ist die spezifische Aktivität praktisch genau so groß wie die im dunklen Sand Ke 4 vom Strand.

Messungen etwa 70 km nördlich von Kovalam Beach ergaben etwa den gleichen Ortsdosisleistungsverlauf wie am Strand von Kovalam Beach in Abb. 35.1. Die Abb. 37.1 zeigt Ortsdosisleistungsmessungen in der Umgebung des Krankenhauses von Neendakara. Das BARC betreibt in Gebäuden des Krankenhauses wissenschaftliche Untersuchungen über eventuelle Auswirkungen der erhöhten natürlichen Strahlenexposition bei der Bevölkerung auf den Gebieten mit Schwermineralanreicherungen. Die bisher gewonnenen Ergebnisse sind in /Go 72/, /Su 80/, /Su 82/ zusammengefaßt. Durch Herrn George, BARC /Ge 81/ konnten in 2 Häusern, s. Abb. 37.8 und 37.9, Ortsdosisleistungsmessungen durchgeführt werden. In dem einem betrug die Ortsdosisleistung 1300 mrem/a und in dem anderen 1700 mrem/a. Die in verschiedenen Segmenten gemessenen mittleren Ortsdosisleistungen von Sunta u.a. /Su 80/ sind in Abb. 34 links unten dargestellt. Nach /Su 80/ beträgt in der Chavara-Region die höchste gemessene Ortsdosisleistung in Häusern 3840 mR/a, d.h. etwa 3700 mrem/a. Die höchste gemessene Personendosis ist 3260 mR/a, d.h. etwa 3100 mrem/a. Mit einem Geiger-Müller-Zähler des BARC konnten in Neendakara die Orts-

dosisleistungen oberhalb von 2500 mrem/a gemessen werden. Die Kalibrierung erfolgte mit dem Szintillationszähler der Firma Halle und Extrapolation oberhalb des Bereichs von 2500 mrem/a. An einer Stelle am oberen Bildende in Abb. 37.10 gab es einen besonders dunklen Bereich von etwa 5 m Durchmesser. Die Ortsdosisleistung betrug an der Sandoberfläche etwa 10 000 mrem/a. Die spezifische Aktivität der Sandprobe Ke 6 von dieser Stelle ist in Tab. 3 aufgeführt. Nach /Ge 81/ betrug die höchste gemessene Ortsdosisleistung in einem unbewohnten Bereich im Jahre 1978 in 1 m Höhe etwa 2,2 mR/h, d.h. etwa 18000 mrem/a. Die Abb. 37.2 bis 37.13 geben einen Eindruck von dem Gebiet, in dem die Bevölkerung einer erhöhten natürlichen Strahlenexposition ausgesetzt ist. In den Abb. 37.4, 37.11 und 37.12 ist die Strandbefestigung, bestehend aus Granitsteinen, zu sehen.

Die Abb. 38.1 bis 38.7 zeigen noch deutlicher den schmalen Küstenstreifen, auf dem an der Südwestküste Indiens etwa 70 000 Personen einer erhöhten natürlichen Strahlenexposition ausgesetzt sind. Der Ort Kovilthottam ist etwa 5 km nördlich des Krankenhauses von Neendakara, s. Abb. 37.1. In der Nähe betreibt die Indian Rare Earth Ltd. eine Fabrik zur Erzgewinnung /La 82/. Die spezifische Aktivität der Probe Ke 7 ist nicht so hoch wie z.B. von Ke 6 in Tab. 3. Die gemessene Ortsdosisleistung in Tab. 38.1 stimmt mit dem Rechenwert bei unendlicher Ausdehnung von 2000 mrem/a in Tab. 3 recht gut überein.

Mit Isodynamischen Magnetabscheidern, s. Abb. 25.1, läßt sich der Sand, wie in Kap. 4 beschrieben, in einzelne Fraktionen trennen. Bei einer Monazit-Probe Ke 8 von Herrn George, BARC /Ge 81/ wurde eine spezifische U 238-Aktivität von 7,5 nCi/g und eine Th 232-Aktivität von 39 nCi/g gemessen. Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von U 238 zu Th 232 ist bei den Monazit-Körnern genau so groß wie das des dunklen Sandes in Tab. 2. Wäre die gesamte Aktivität in Monazit-Körnern gebunden, so wären in den Proben Ke 1 und Ke 6 etwa 1 % der Masse Monazit-Körner. In /Su 80/ wird gesagt, daß die Monazit-Anreicherung bis zu etwa 8 % beträgt.

Bei der Verteilung der einzelnen Elemente auf die verschiedenen Sandkörner zeigt sich bei der dunklen und hellen Sandprobe, s. Abb. 39.1 bis 39.6 und Abb. 40.1 bis 40.4 ein ähnliches Bild wie bei dem Sand von Norderney in den Abb. 23 und 24.1 bis 24.5. Während beim Sand von den Inseln Norddeutschlands erst nach Trennung mit einem Isodynamischen Magnetabscheider Zirkonium lokalisiert werden konnte, s. Abb. 27.6, konnte in Probe Ke 1 Zirkonium direkt bestimmt werden, s. Abb. 39.5. In den Monazit-Körnern von Probe Ke 8 zeigt sich die gleiche Zusammensetzung wie in Abb. 28, s. Abb. 41.5. Sehr anschaulich sind die Ce-, P- und Th-Verteilungen in Abb. 41.2 bis 41.4.

Die Abbildungen zeigen, daß die Schwermineralanreicherungen an der Südwestküste Indiens wesentlich höher und ausgedehnter sind als an der Küste der Ost- und Nordfriesischen Inseln. Wahrscheinlich ist das auf größere Wasserströmungen an der Küste zurückzuführen. Im Sand an der Südwestküste Indiens ist im Gegensatz zum Sand an der Küste Norddeutschlands die U 238- und Th 232-Aktivität im wesentlichen an Monazit ($\text{Ce, La[PO}_4\text{]}$) gebunden. Auf dem Sand mit Schwermineralanreicherungen wohnen an der Südwestküste Indiens etwa 70 000 Personen, an der Küste Norddeutschlands ist dieser Bereich unbewohnt. Hier erhalten praktisch nur Urlauber eine Strahlenexposition. Da die Aufenthaltszeit im allgemeinen klein und die Ortsdosisleistung nicht so stark erhöht ist, ist die erhaltene Dosis gering. Urlauber am Strand an der Südwestküste Indiens können auf den Schwermineralanreicherungen jedoch eine höhere Strahlenexposition als auf den Schwermineralanreicherungen an der Küste der Ost- und Nordfriesischen Inseln erhalten.

Nr.	Ort	Abb.	Datum der Probenahme	spez. Aktivität [pCi/g]			$\dot{D}_{\infty}$ [mrem/a]	$\frac{A_{U-238}}{A_{Th-232}}$	Bemerkung
				U 238-Reihe	Th 232-Reihe	K 40			
Ju 1	Juist	11.1	19.10.79	0,25	0,25	4,7	18	1	heller Sand
Ju 2	Juist	11.1	19.10.79	0,15	0,12	6	15	1,3	heller Sand
Ju 3	Juist	11.1	19.10.79	0,15	0,12	6	15	1,3	heller Sand
Ju 4	Juist	11.1	20.10.79	0,3	0,3	3,9	19	1	heller Sand
Ju 5	Juist	11.1	20.10.79	0,6	0,5	4	30	1,2	dunkler Sand
Ju 6	Juist	11.1	20.10.79	6,2	4,3	1,5	230	1,4	dunkler Sand
No 1	Norderney	12.1	2.10.78	18	12	1,2	640	1,5	dunkler Sand
No 2	Norderney	12.1	2.10.78	0,1	0,15	1,7	8	0,7	heller Sand
No 3	Norderney	12.1	21.10.79	11	11	2	490	1	dunkler Sand
No 4	Norderney	12.1	21.10.79	18	23	1,3	920	0,8	dunkler Sand
No 5	Norderney	12.1	21.10.79	0,1	0,15	2	9	0,7	heller Sand
No 6	Norderney	12.1	13.10.80	1,6	1,5	2	71	1,1	dunkler Sand
No 7	Norderney	12.1	13.10.80	4,7	4,4	2	200	1,1	dunkler Sand
No 8	Norderney	12.1	13.10.80	4,6	4,3	2	200	1,1	dunkler Sand
No 9	Norderney	12.1	13.10.80	17	15	4	700	1,1	dunkler Sand
No 10	Norderney	12.1	13.10.80	14	12	2	570	1,2	dunkler Sand
No 11	Norderney	12.1	13.10.80	14	10	1	510	1,4	dunkler Sand
No 12	Norderney	12.1	13.10.80	16	13	1	630	1,2	dunkler Sand
No 13	Norderney	12.1	13.10.80	13	11	1,4	520	1,2	dunkler Sand
No 14	Norderney	12.1	13.10.80	14	13	2,4	540	1,1	dunkler Sand
No 15	Norderney	12.1	13.10.80	5,0	5,9	1,9	240	0,85	dunkler Sand
No 16	Norderney	12.1	14.10.80	2,2	2,2	2,4	100	1	dunkler Sand
No 17	Norderney	12.1	14.10.80	3,2	2,4	2,1	120	1,3	dunkler Sand
No 18	Norderney	12.1	14.10.80	0,4	0,4	3,3	23	1	dunkler Sand
No 19	Norderney	12.1	14.10.80	0,35	0,35	2,6	19	1	dunkler Sand
No 20	Norderney	12.1	14.10.80	0,9	0,8	2,7	40	1,1	dunkler Sand
No 21	Norderney	12.1	14.10.80	16	14	2,5	650	1,1	dunkler Sand
No 22	Norderney	12.1	7.01.84	7,2	6,4		300	1,1	dunkler Sand
No 23	Norderney	12.1	7.01.84	13	11		519	1,2	dunkler Sand
No 24	Norderney	12.1	7.01.84	5,7	5	1,3	230	1,1	dunkler Sand
No 25	Norderney	12.1	7.01.84	11	10		460	1,1	dunkler Sand
No 26	Norderney	12.1	7.01.84	7	6,8		300	1	dunkler Sand
No 27	Norderney	12.1	7.01.84	10	9		410	1,1	dunkler Sand
La 1	Langeoog	14.1	30.10.79	4,3	5,1	2,4	210	0,85	dunkler Sand
La 2	Langeoog	14.1	30.10.79	0,1	0,1	2,7	9	1	heller Sand
La 3	Langeoog	14.1	30.10.79	10,5	11	2,2	480	0,95	dunkler Sand
La 4	Langeoog	14.1	6.10.80	2,0	2,3	4,0	100	0,85	dunkler Sand
La 5	Langeoog	14.1	6.10.80	0,4	0,35	2,4	20	1,1	heller Sand mit dunklen Schlieren
Sp 1	Spiekeroog	15.1	30.10.79	0,1	0,1	2,5	8	1	heller Sand
Sp 2	Spiekeroog	15.1	3.10.80	10,4	10,3	1,1	450	1	dunkler Sand
Sp 3	Spiekeroog	15.1	3.10.80	0,5	0,45	3	25	1,1	heller Sand
Wa 1	Wangeroog	16.1	17.10.79	0,1	0,1	3	9	1	heller Sand
Wa 2	Wangeroog	16.1	17.10.79	6,7	7,0	1,1	300	0,95	dunkler Sand
Sy 1	Sylt	19.1	1.12.78	4,4	9,2	2	320	0,48	dunkler Sand
Sy 2	Sylt	19.1	1.12.78	0,1	0,1	3,8	10	1	heller Sand
Sy 3	Sylt	19.1	2.12.78	0,1	0,1	2	8	1	heller Sand
Sy 4	Sylt	19.1	2.12.78	10	20	2	690	0,5	dunkler Sand
Sy 5	Sylt	19.1	2.12.78	0,1	0,1	6	14	1	heller Sand
Sy 6	Sylt	19.1	2.12.78	0,7	1	27	81	0,7	Schottersteine aus Granit und Gneis
Sy 7	Sylt	19.1	2.12.78	0,55	1,3	18	72	0,42	Steinchen aus Granit und Gneis
Sy 8	Sylt	19.1	22.09.79	4,1	9,5	1	320	0,43	dunkler Sand
Sy 9	Sylt	19.1	22.09.79	0,15	0,15	2	10	1	heller Sand
Sy 10	Sylt	19.1	22.09.79	11	28	2	910	0,40	dunkler Sand
Sy 11	Sylt	19.1	22.09.79	11	26	3	860	0,42	dunkler Sand
Sy 12	Sylt	19.1	11.04.80	0,3	0,3	6	23	1	dunkel ohne Schwermineralanreicherung
Sy 13	Sylt	19.1	11.04.80	0,6	1,4	30	94	0,43	Steinchen aus Granit und Gneis aus Moräne

Tab. 1: Spez. Aktivität in verschiedenen Sand- und Gesteinsproben aus Norddeutschland und Dänemark (1 pCi = 0,037 Bq)
 $\dot{D}_{\infty}$: Ortsdosisleistung bei unendlicher, homogener Ausdehnung

Nr.	Ort	Abb.	Datum der Probennahme	spez. Aktivität [pCi/g]			$\dot{D}_{\infty}$ [mrem/a]	$\frac{A_{U\ 238}}{A_{Th\ 232}}$	Bemerkung
				U 238-Reihe	Th 232-Reihe	K 40			
Sy 14	Sylt	19.1	11.04.80	0,17	0,25	8	22	0,68	Sedimentsteine aus Moräne
Sy 15	Sylt	19.1	11.04.80	0,15	0,25	2,2	13	0,60	Sand aus Moräne
Sy 16	Sylt	19.1	11.04.80	4,5	8,5	2,7	300	0,53	dunkler Sand an Oberfläche
Sy 17	Sylt	19.1	11.04.80	0,2	0,1	1,7	9	2	heller Sand, Grobkorn
Sy 18	Sylt	19.1	11.04.80	0,1	0,1	1,4	7	1	heller Sand, Feinkorn
Sy 19	Sylt	19.1	11.04.80	0,1	0,1	1,8	7	1	rötlicher Sand
Sy 20	Sylt	19.1	11.04.80	6,5	11,5	2,7	420	0,56	dunkler Sand
Sy 21	Sylt	19.1	11.04.80	11	26	3	860	0,42	dunkler Sand
Sy 22	Sylt	19.1	11.04.80	7,5	13	1	470	0,58	dunkler Sand
Sy 23	Sylt	19.1	12.04.80	0,25	0,25	2,4	15	1	wenig dunkler Sand
Sy 24	Sylt	19.1	12.04.80	5,7	10,5	1,4	370	0,54	dunkler Sand
Sy 25	Sylt	19.1	12.04.80	0,5	0,85	29	77	0,59	Steinchen aus Granit und Gneis von Strand
Sy 26	Sylt	19.1	12.04.80	6,4	8,7	1,1	340	0,74	dunkler Sand
Le 1	Leck	9	13.04.80	0,3	0,3	6	23	1	heller Sand von Feld Abb. 4
Le 2	Leck	9	13.04.80	0,3	0,3	6	23	1	dunkler Sand von gleichem Ort wie Le 1
Ec 1	Eckernförde	9	13.04.80	0,25	0,18	4,3	16	1,4	heller Sand, Feinkorn
Ec 2	Eckernförde	9	13.04.80	0,45	0,32	13	37	1,4	heller Sand, Grobkorn
Ka 1	Kappeln	9	13.04.80	0,6	0,6	11	44	1	Boden von Feld
Lb 1	Laboe	9	21.10.79	0,15	0,15	9	21	1	heller Sand
Ni 1	Niobe Denkmal	9	26.10.80	0,2	0,2	5	17	1	heller Sand, Feinkorn
Ni 2	Niobe Denkmal	9	26.10.80	0,25	0,2	8	22	1,3	heller Sand, Grobkorn
Gr 1	Grena, Dänemark	3	27.07.79	0,15	0,15	5,9	16	1	heller Sand
Gr 2	Grena, Dänemark	3	27.07.79	1	0,6	5	42	1,7	dunkler Sand
Ar 1	Arhus, Dänemark	3	28.07.79	0,4	0,5	14	42	0,8	Boden von Feld
Ow 1	Owschlag	9	28.07.79	0,35	0,4	13	37	0,9	Sand aus Sandgrube, Endmoräne
Wi 1	Wilsede		28.07.79	0,12	0,12	5	13	1	Sand, Lüneburger Heide
Tr 1	Trelde	9	10.04.80	0,2	0,2	5	17	1	Boden von Feld
It 1	Itzehoe	9	10.04.80	0,5	0,5	7,5	34	1	Boden von Feld
Ab 1	Albersdorf	9	10.04.80	1,2	2,2	33	130	0,55	Steinchen aus Granit von Feld
Go 1	Gorleben		8.12.82	0,1	0,1	4	11	1	Sand aus tiefen Boden- bereichen 0,1 bis 2,5 m
Ho 1	Horumersiel	9	6.11.79	19	1,7	18	430	11	Kupferschlackenstein

Tab. 1: Fortsetzung

Anteil	Stromstärke [A]	Probe No 1 in Tab. 1 Norderney			Probe Sy 4 in Tab. 1 Sylt			Farbe
		Gewichts- anteil [%]	U 238- Reihe [pCi/g]	Th 232- Reihe [pCi/g]	Gewichts- anteil [%]	U 238- Reihe [pCi/g]	Th 232- Reihe [pCi/g]	
Ferromagnetisch		0,7	5	10	0,4	20	25	schwarz
Paramagnetisch	0,3	27,7	3	3	52,5	4	10	wasserhell, rosa, rot, schwarz
	0,6	37,9	9	12	9,7	16	20	grün, rosa, rot, braun, schwarz
	0,7	4,0	50	30	0,7	50	120	wasserhell, gelb, schwarz
	1,0	0,6	40	120	0,6	150	500	wasserhell, gelb, grün, rot, braun, schwarz
	1,5				0,4	300	1400	wasserhell, gelb, grün, rot, braun, schwarz
Diamagnetisch (Quarz)		29,1	35	14	35,7	10	10	wasserhell, hellbraun

Tab. 2: Aufteilung zweier trockener dunkler Sandproben mit Hilfe eines Magnetabcheiders in 6 bzw. 7 Fraktionen und spezifische Aktivität in den einzelnen Fraktionen
(1 pCi = 0,037 Bq)

Nr.	Ort	Abb.	Datum der Probennahme	spez. Aktivität [pCi/g]			$\dot{D}_{\infty}$ [mrem/a]	$\frac{A_{U-238}}{A_{Th-232}}$	Bemerkung
				U 238-Reihe	Th 232-Reihe	K 40			
Ke 1	Kovalam Beach	35.2	25.1.81	70	400	30	11 400	0,19	dunkler Sand vom Strand
Ke 2	Kovalam Beach	35.2	25.1.81	0,6	1,4		46	0,43	heller Sand vom Strand
Ke 3	Manavalakurichi	36.1	24.1.81	35	250		7 000	0,14	dunkler Sand bei Kirche
Ke 4	Manavalakurichi	westl. 36.1	24.1.81	45	250	13	7 200	0,18	Indian Rare Earth Ltd. dunkler Sand vom Strand
Ke 5	Manavalakurichi	westl. 36.1	24.1.81	20	110		3 100	0,18	Indian Rare Earth Ltd. heller Sand vom Strand
Ke 6	Neendakara	37.10	29.1.81	80	380		11 000	0,21	dunkler Sand bei Fischer-siedlung. An Oberfläche Ortsdosisleistung etwa 10 rem/a
Ke 7	Kovilthottam	38.4	29.1.81	20	65		2 000	0,3	dunkler Sand bei Kirche
Ke 8				7 500	39 000		-	0,19	Monazit-Körner, Monazite Survey Project /Ge 81/
Ke 9	Kovalam Beach	35.3	25.1.81	0,6	2,5	40	140	0,24	Gneis (Charnockit)
Ke 10	Kovalam Beach		25.1.81	1	4	10	135	0,25	Gneis von Felsen beim Maharadscha Palast

Tab. 3: Spezifische Aktivität verschiedener Sand-, Gesteins- und Monazitproben aus Kerala und Tamil Nadu an der Südwestküste Indiens



Abb.1: Vereisung Europas während des Diluviums
(etwa 2 Mill. Jahre bis 12000 Jahre v. Chr.),
nach WOLDSTEDT /Wo 74/

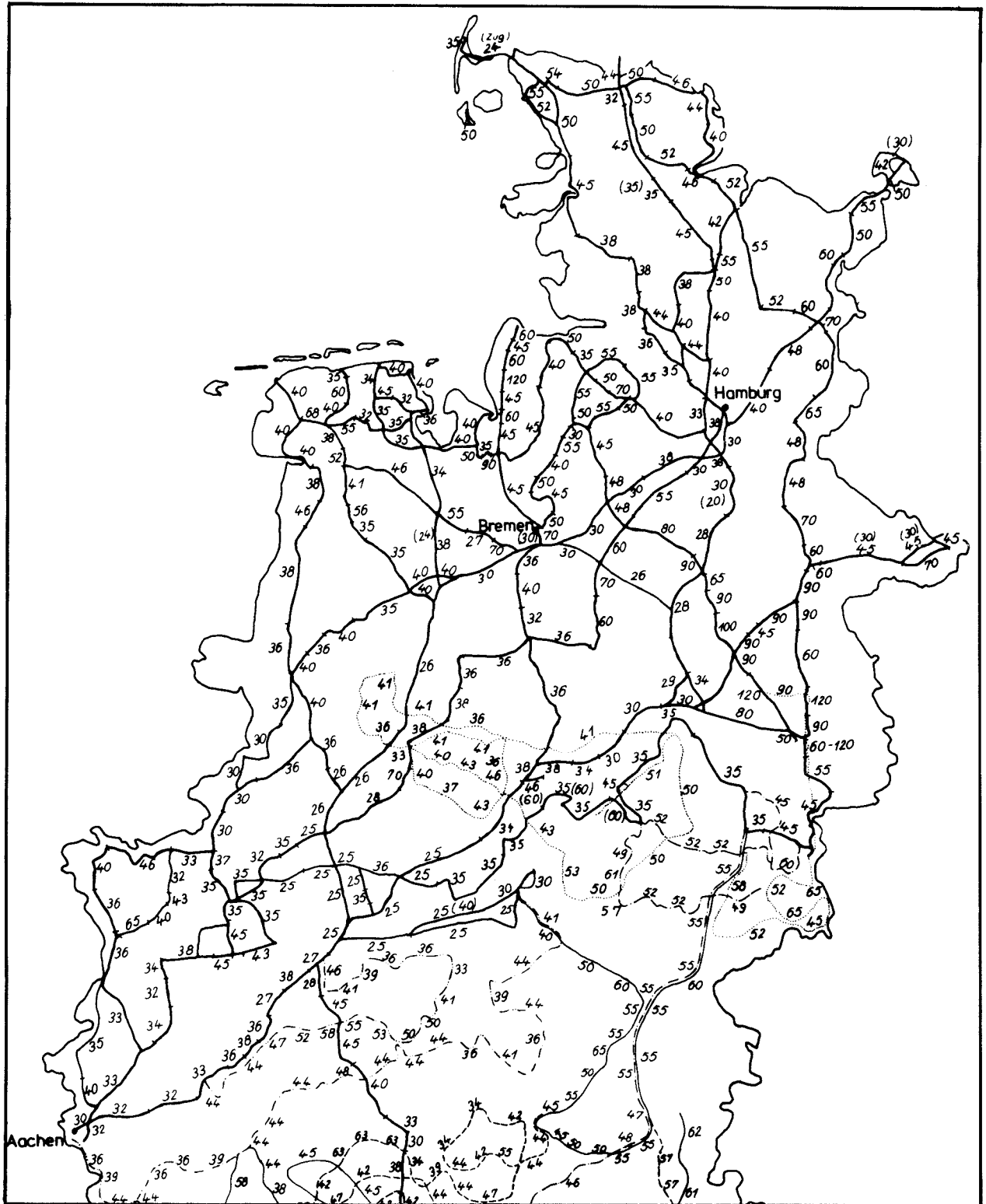


Abb. 2: Ortsdosisleistung durch terrestrische Strahlung auf Straßen Norddeutschlands in mrem/a
 — Meßwerte in den Jahren 1978-1982. -- Meßwerte im Jahr 1960
 /Bo 74/, /Ge 66/
 () Meßwerte abseits von Straßen

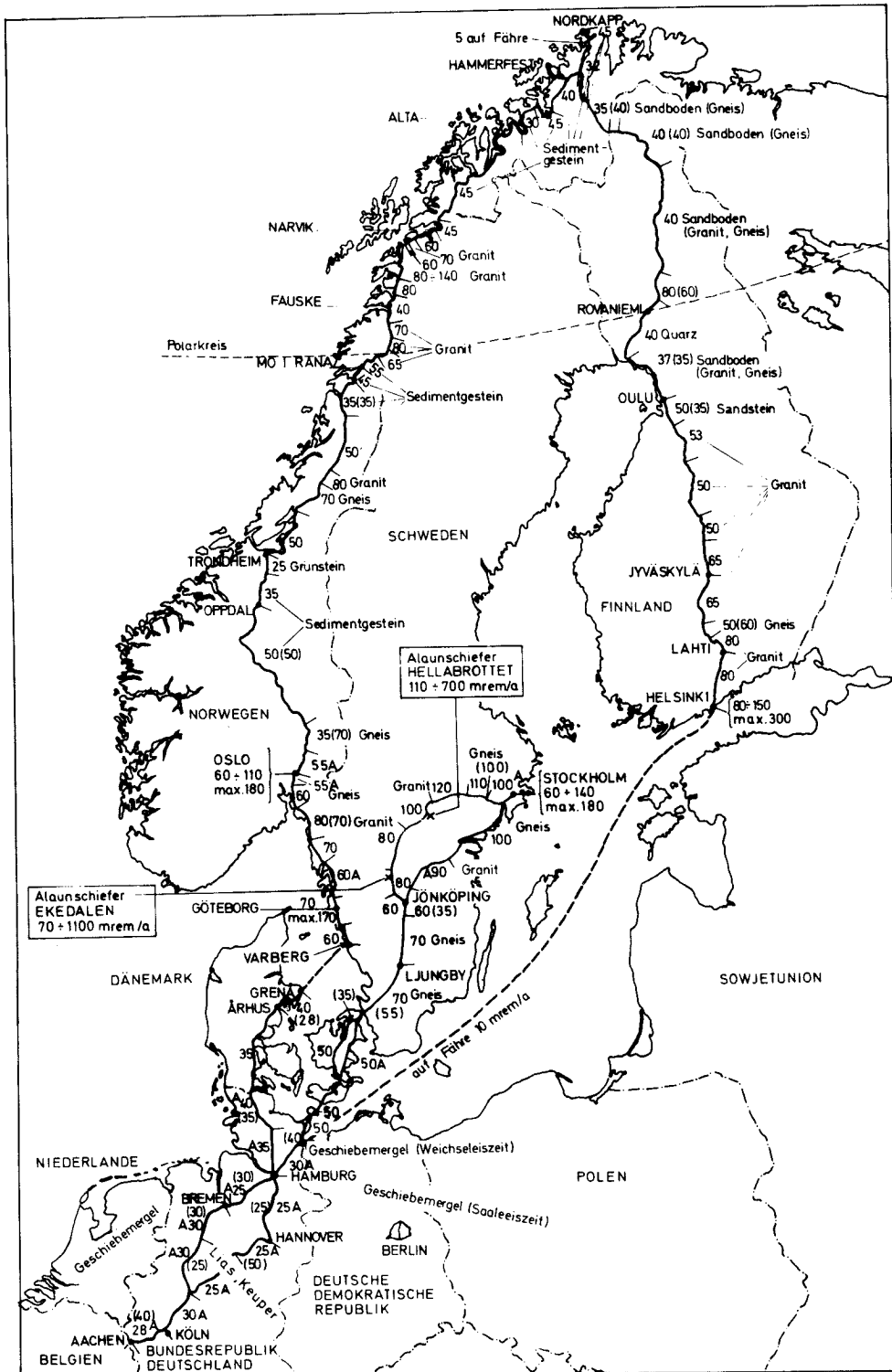


Abb. 3 : Ortsdosisleistung durch terrestrische Strahlung auf Straßen in Norddeutschland, Dänemark, Schweden, Norwegen, Finnland in mrem/a im Jahre 1979, Abschirmung durch das Auto etwa 10 %
 () gemessene Werte abseits von der Straße
 A Autobahn

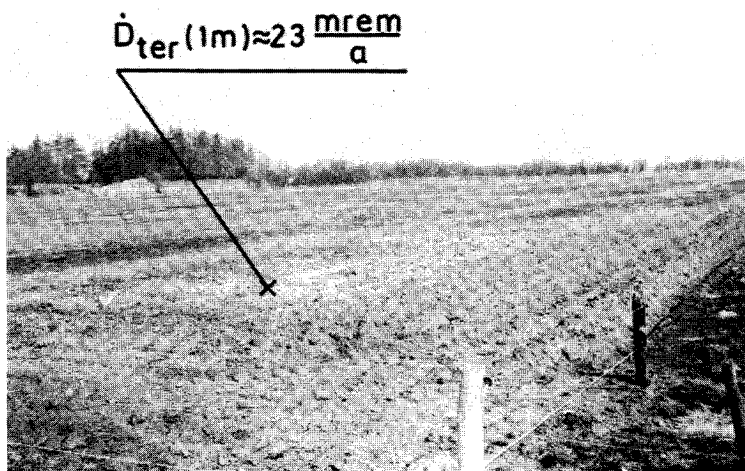


Abb. 4: Feld mit Sandboden bei Leck
im Norden Schleswig Holsteins



Abb. 5: Kiesgrube (Moräne) bei
Neumünster



$\dot{D}_{\text{ter}}(1\text{m}) \approx 130 \text{ mrem/a}$

Abb. 6: Marktplatz in Husum mit Granitsteinpflaster

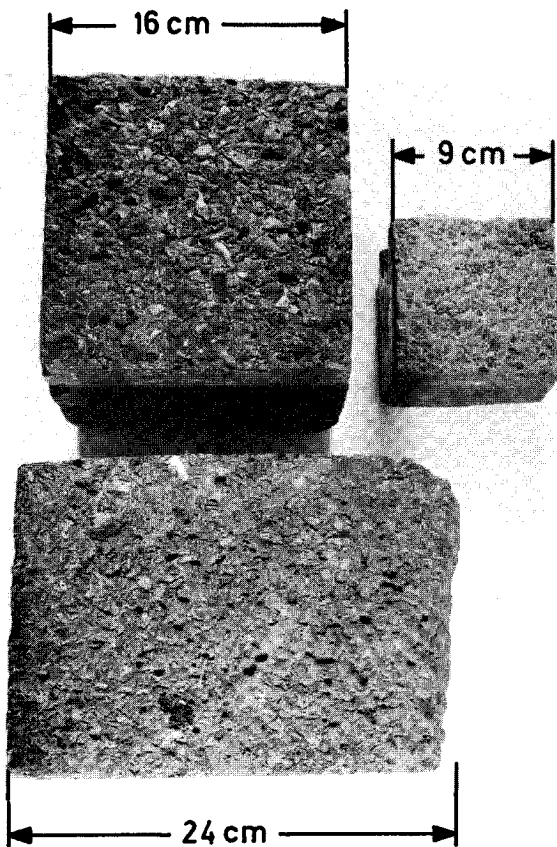


Abb. 7.1: Kupferschlackensteine aus Mansfeld in der Deutschen Demokratischen Republik

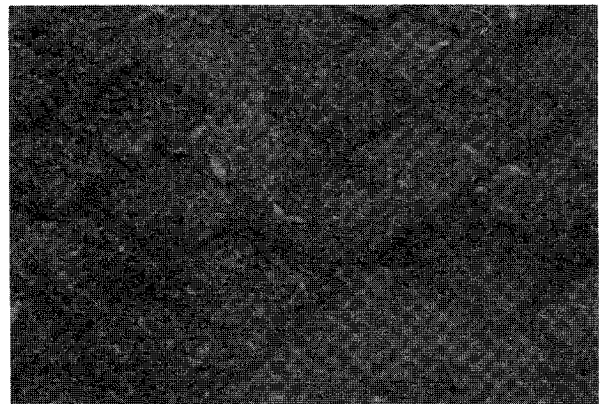


Abb. 7.2: Straße mit Kupferschlackensteinen am Hafen von Horemersiel, Abb. 9

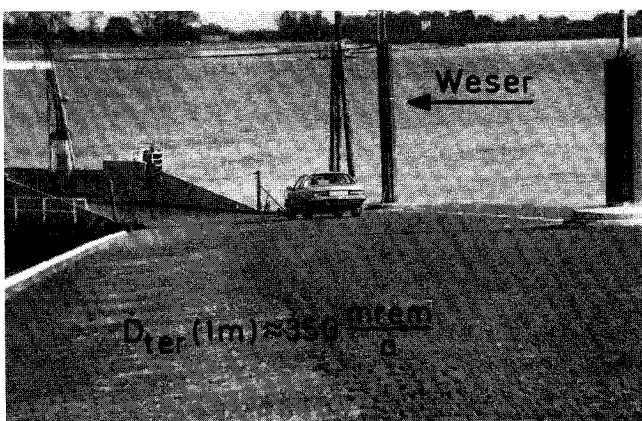


Abb. 7.3: Kupferschlackensteine auf dem Weg zur Weserfähre bei Golzwarden, Abb. 9

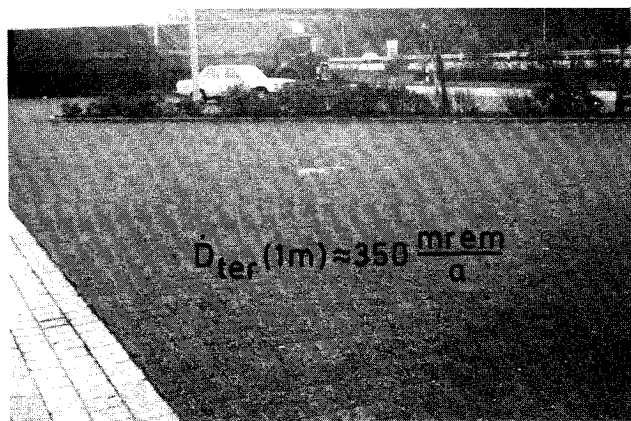


Abb. 7.4: Kupferschlackensteine auf dem Autobahn-Rasthof Zweidorfer Holz bei Braunschweig

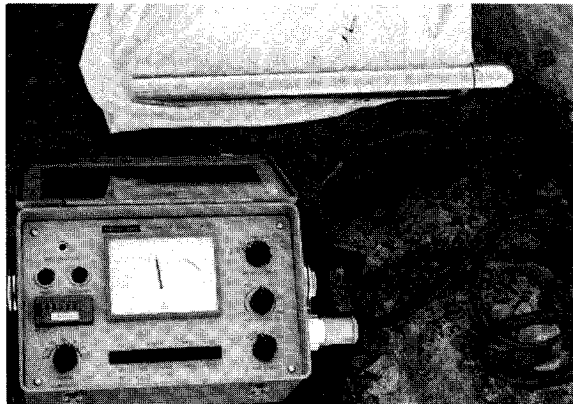


Abb. 8.1: Dosimeter mit NaJ(Tl)-Szintillationssonde Sz 25/64 BD ($\emptyset$ 25 x 64 mm) und Ratemeter-Scaler LB 1821, Hersteller Labor Prof. Dr. Berthold in Wildbad (Meßort s. Abb. 12.10)

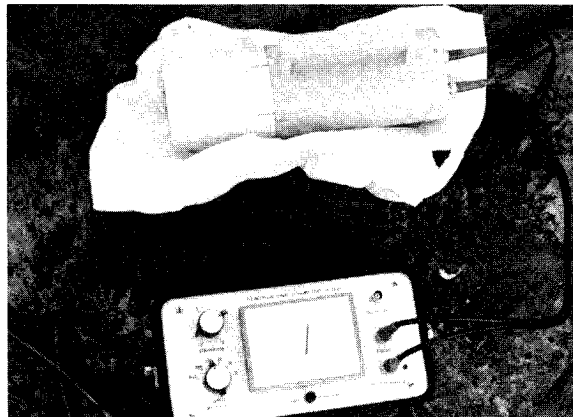


Abb. 8.2: Dosimeter H 7201 mit Kunststoffszintillationssonde ($\emptyset$ 75 x 75 mm) der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig (Meßort s. Abb. 12.10)

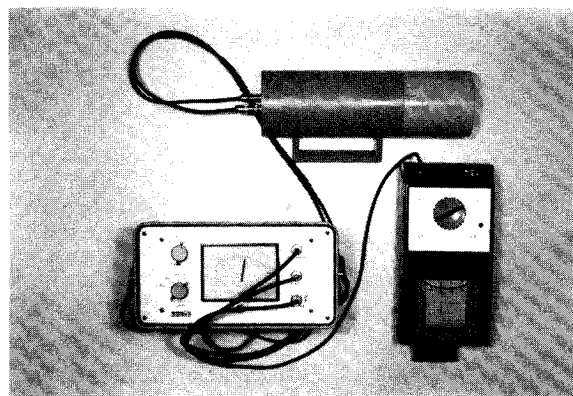


Abb. 8.3: Dosimeter H 7907 mit Kunststoffszintillationssonde SzS 908 ($\emptyset$ 75 x 75 mm), Hersteller Firma E. Halle in Braunschweig und Punktschreiber, Hersteller Firma Metrawatt in Nürnberg

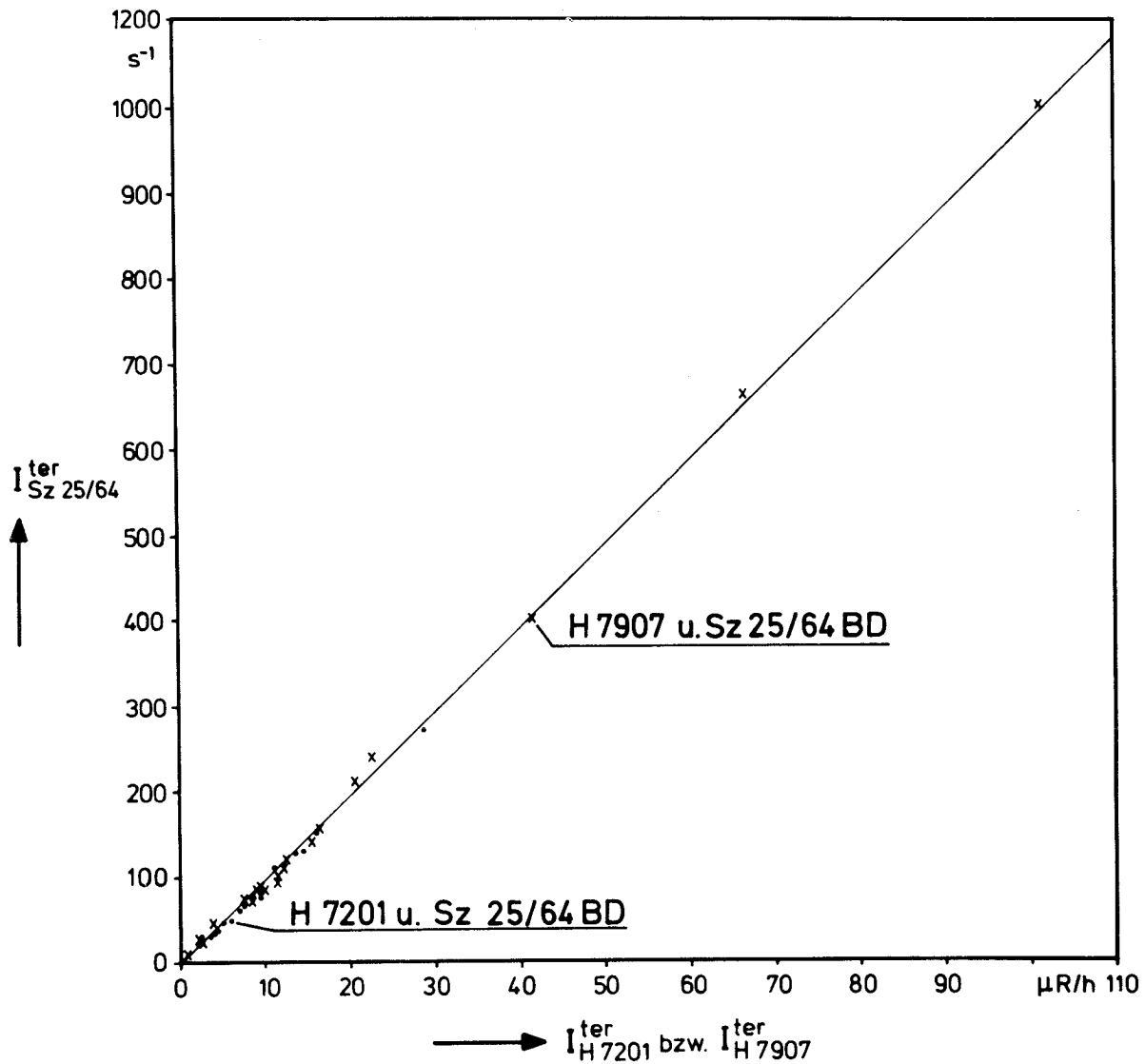


Abb. 8.4: Vergleich der Anzeigen für terrestrische Strahlung beim Dosimeter mit NaJ(Tl)-Szintillationssonde Sz 25/64 BD und Ratemeter-Scaler LB 1821, s.Abb. 8.1, und den Dosimetern H 7201, s.Abb. 8.2, sowie H 7907, s.Abb. 8.3, mit Kunststoffsintillationssonde

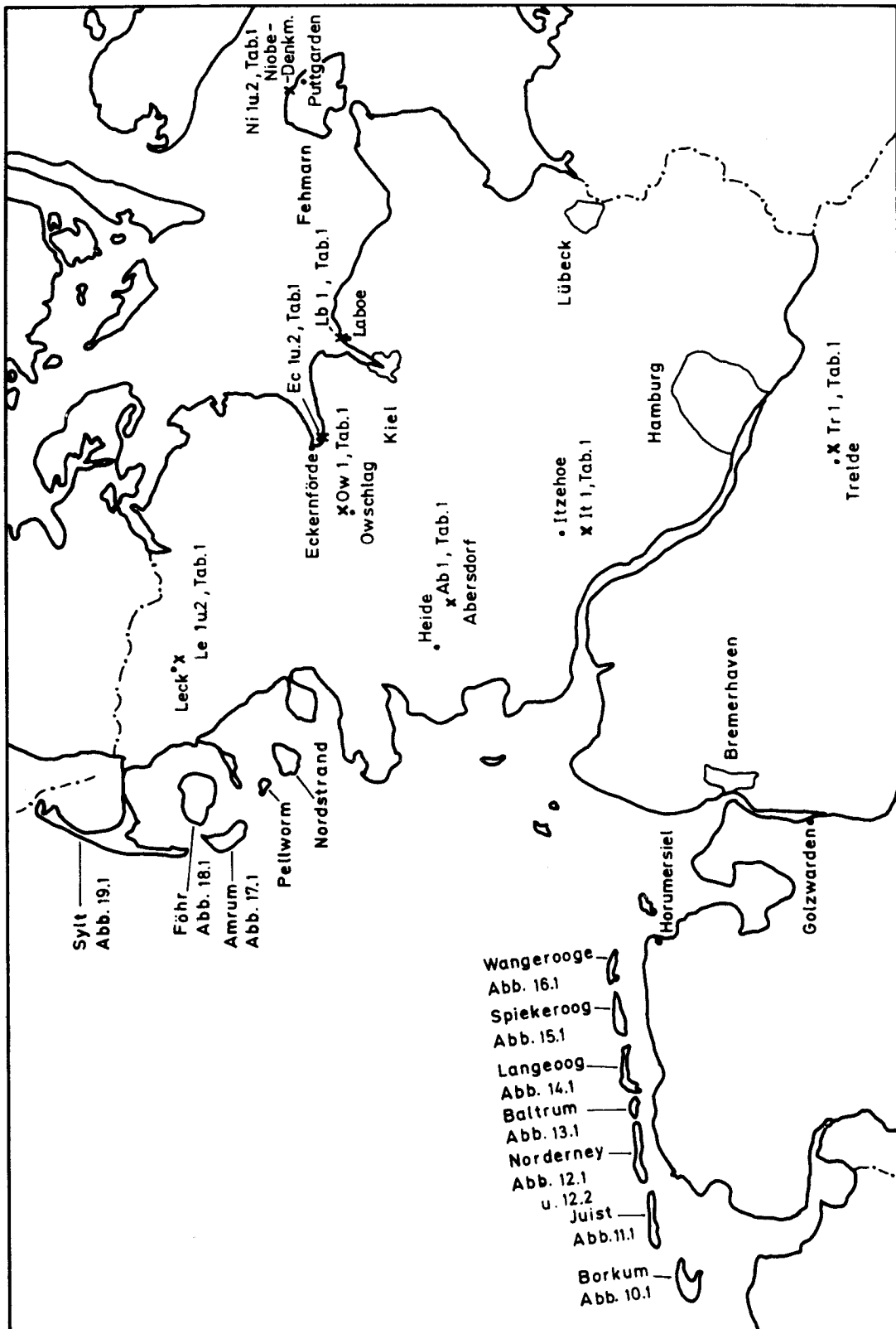


Abb. 9: Inseln, auf denen detaillierte Ortsdosisleistungsmessungen durchgeführt wurden sowie Probennahmeorte an der Ostsee und im Landesinnern, siehe Tab. 1

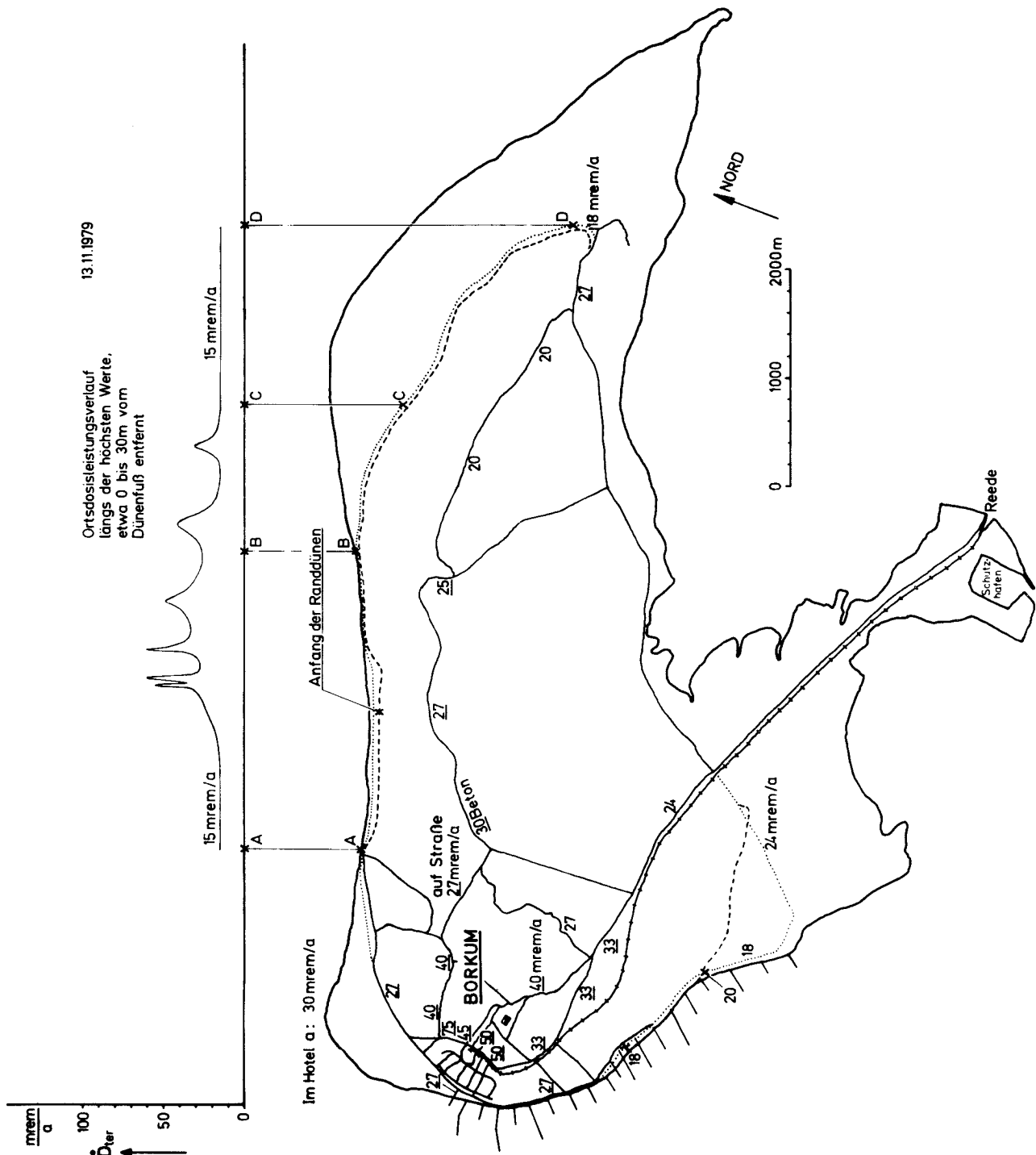


Abb. 10.1: Ortsdosisleistung durch terrestrische Strahlung auf der Insel Borkum und Ortsdosisleistungsverlauf am Strand in der Nähe der Randdünen in 1 m Höhe

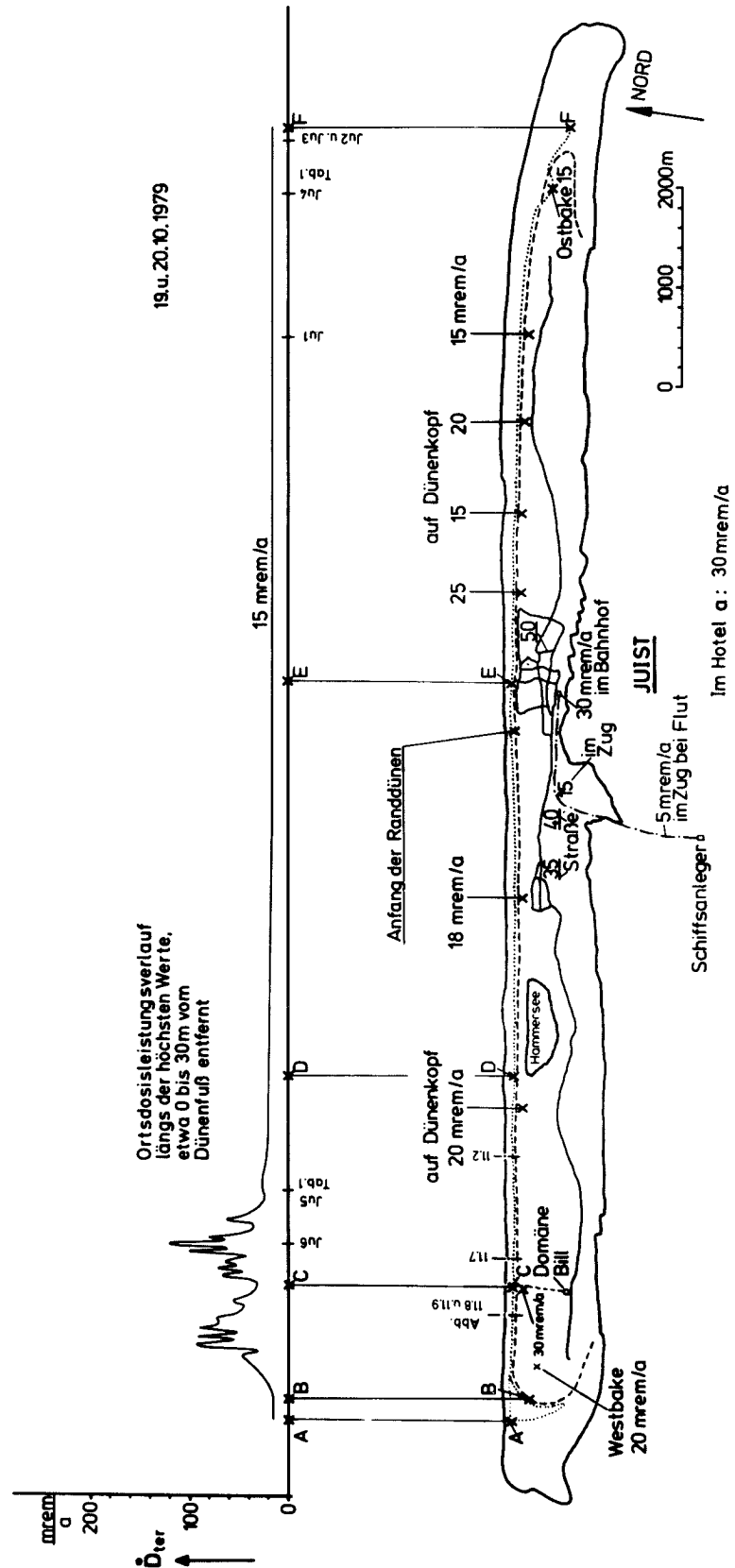


Abb. 11.1: Ortsdosisleistung durch terrestrische Strahlung auf der Insel Juist und Ortsdosisleistungsverlauf am Strand in der Nähe der Randdünen in 1 m Höhe

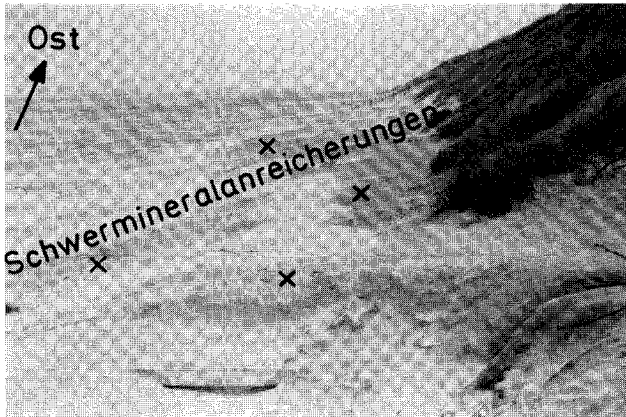


Abb. 11.2: Schwermineralanreicherungen am Weststrand von Juist im Jahre 1979



Abb. 11.3: wie Abb. 11.2, jedoch westlich



Abb. 11.4: wie Abb. 11.2, jedoch weiter westlich

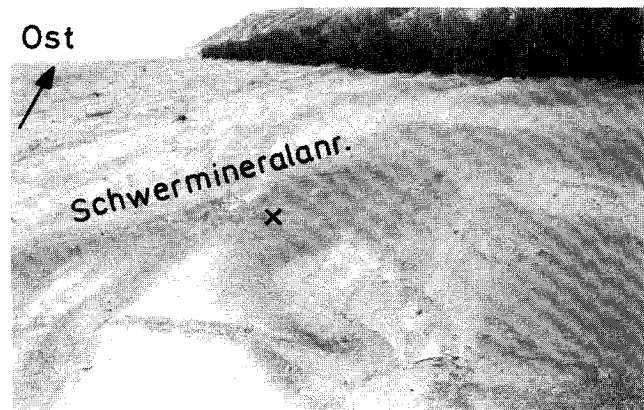


Abb. 11.5: wie Abb. 11.4, jedoch weiter westlich

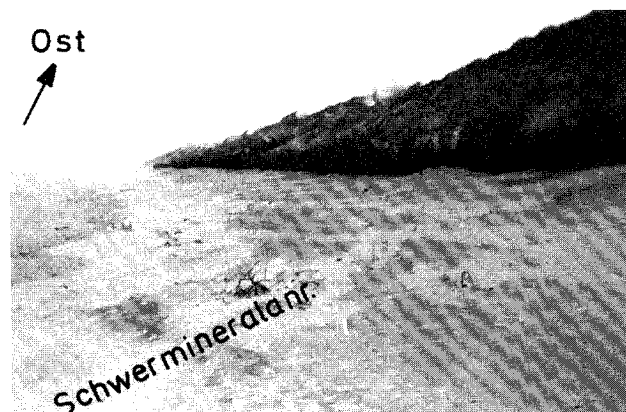


Abb. 11.6: wie Abb. 11.5, jedoch weiter westlich

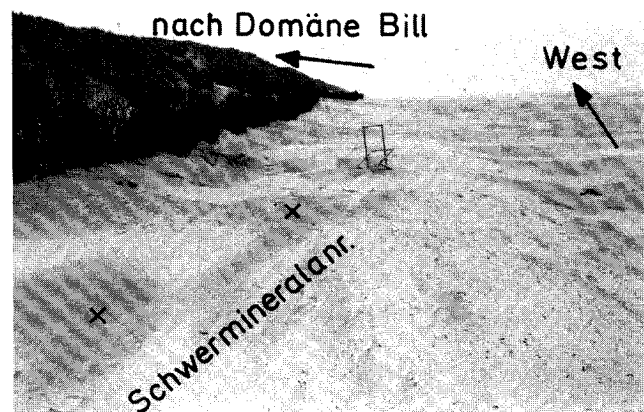


Abb. 11.7: etwa wie Abb. 11.6, jedoch westlich



Abb. 11.9: wie Abb. 11.8

Abb. 11.8: Schwermineralanreicherungen
in den Dünen am Westrand
von Juist im Jahre 1979



Abb. 11.10: wie Abb. 11.8, jedoch auf
dem Dünenkopf

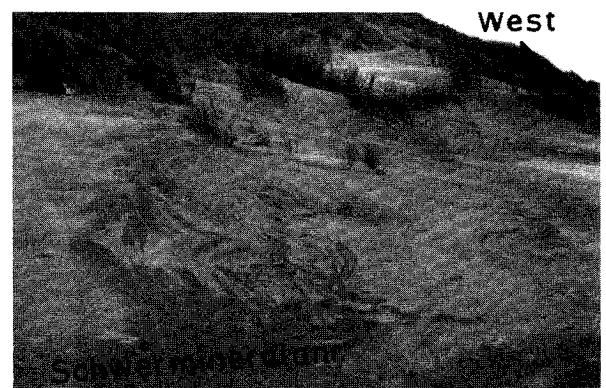


Abb. 11.11: wie Abb. 11.8, jedoch weiter
westlich

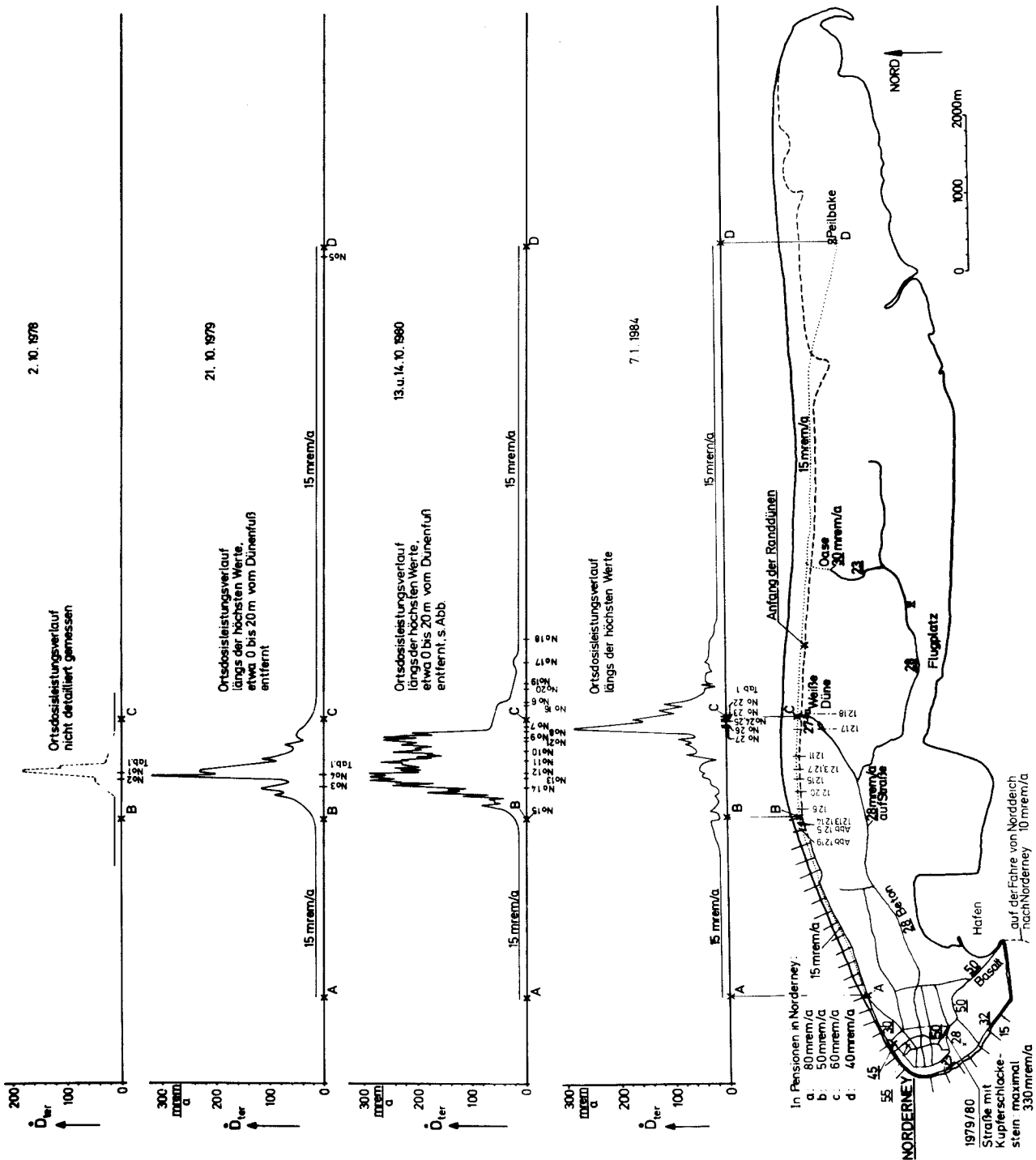


Abb. 12.1: Ortsdosisleistung durch terrestrische Strahlung auf der Insel Norderney und Ortsdosisleistungsverlauf in der Nähe der Randdünen zu verschiedenen Zeiten in 1 m Höhe

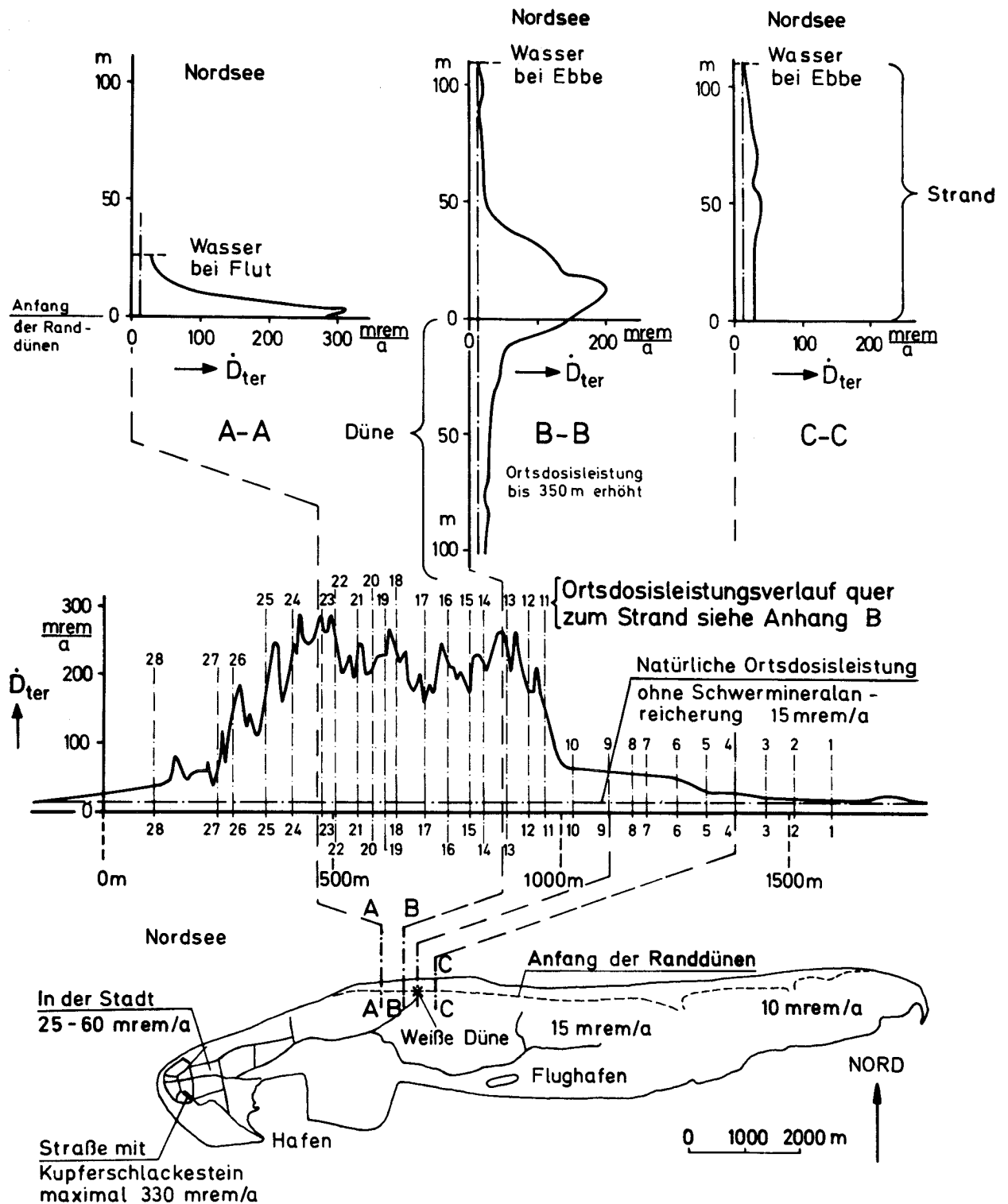


Abb. 12.2: Ortsdosisleistungsverlauf durch terrestrische Strahlung in 1 m Höhe in einem Gebiet mit Schwermineralanreicherungen auf der Insel Norderney im Jahre 1980 (Ortsdosisleistungsverlauf quer zum Strand in den einzelnen Schnitten 1-1 bis 28-28, siehe Anhang B)

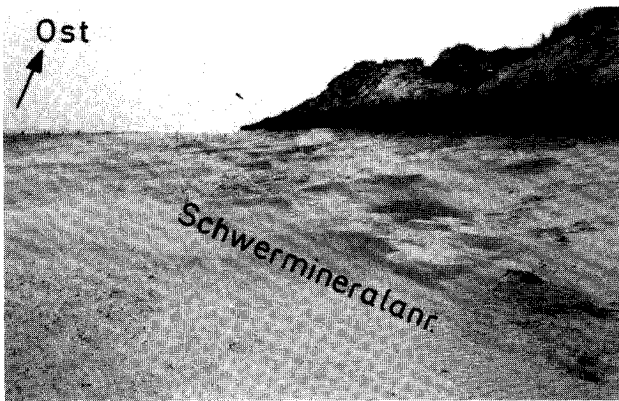


Abb. 12.3: Schwermineralanreicherungen am Stand von Norderney im Jahre 1978

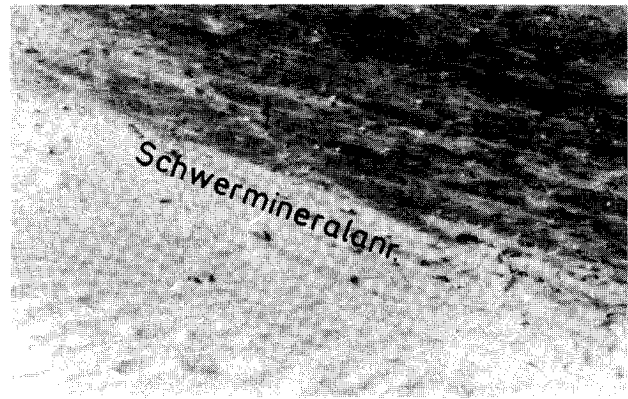


Abb. 12.4: wie Abb. 12.3



Abb. 12.5: Abtrag der Randdüne bei der letzten Buhne von Norderney im Jahre 1979

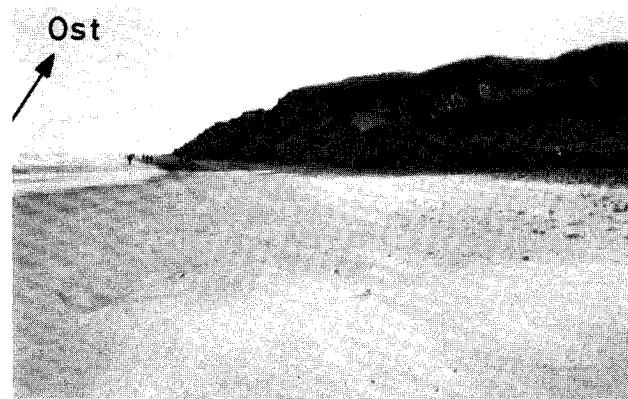


Abb. 12.6: wie Abb. 12.5, nach der Buhne

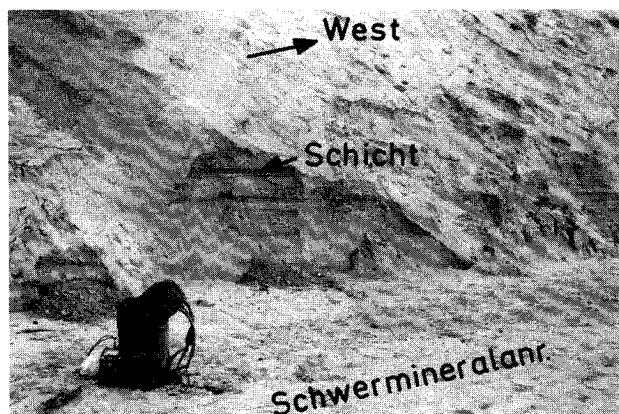


Abb. 12.7: wie Abb. 12.6, jedoch weiter östlich

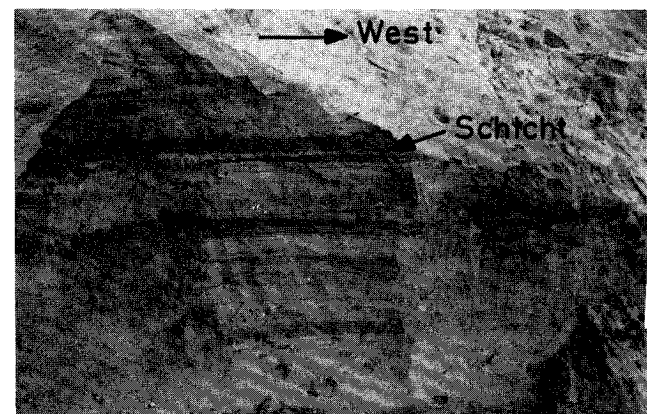


Abb. 12.8: wie Abb. 12.7, Ausschnitt



Abb. 12.9: Bodenprofil in Höhe Abb. 12.7, jedoch näher zum Meer

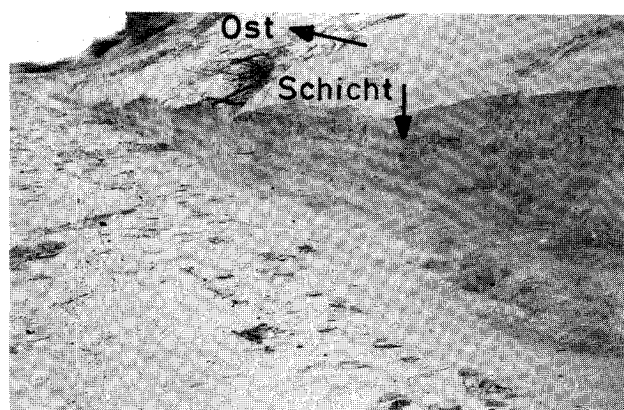


Abb. 12.10: wie Abb. 12.9, nach Osten fotografiert

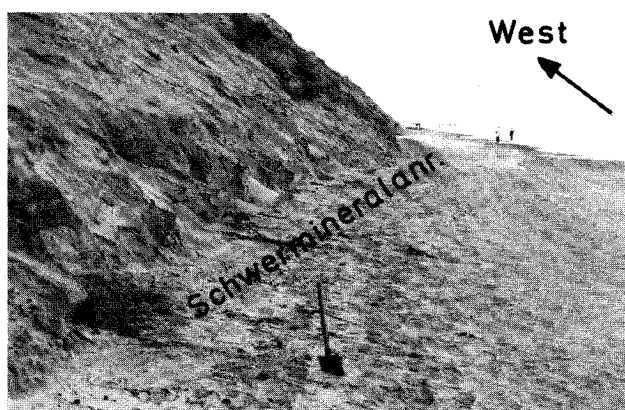


Abb. 12.11: wie Abb. 12.10, jedoch weiter östlich



Abb. 12.12: wie Abb. 12.11, jedoch weiter östlich, Flut

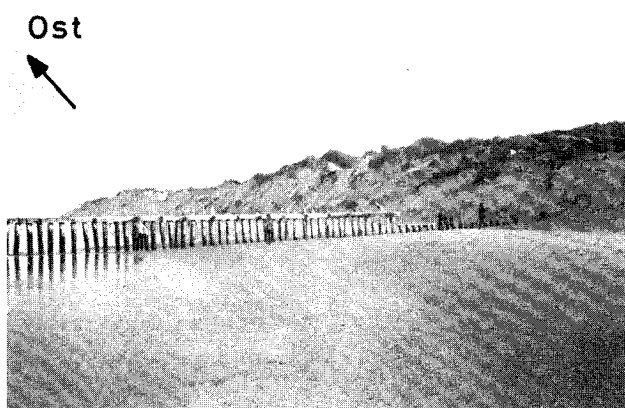


Abb. 12.13: wie Abb. 12.5 im Jahre 1980



Abb. 12.14: wie Abb. 12.13



Abb. 12.15: wie Abb. 12.13, in Mitte des Dünenabtrages



Abb. 12.16: wie Abb. 12.15, jedoch weiter östlich



Abb. 12.17: wie Abb. 12.16, jedoch weiter östlich



Abb. 12.18: wie Abb. 12.17, jedoch weiter östlich



Abb. 12.19: Abtrag der Randdüne ab der letzten Buhne von Nordenney im Jahre 1983



Abb. 12.20: wie Abb. 12.19, hinter der Buhne

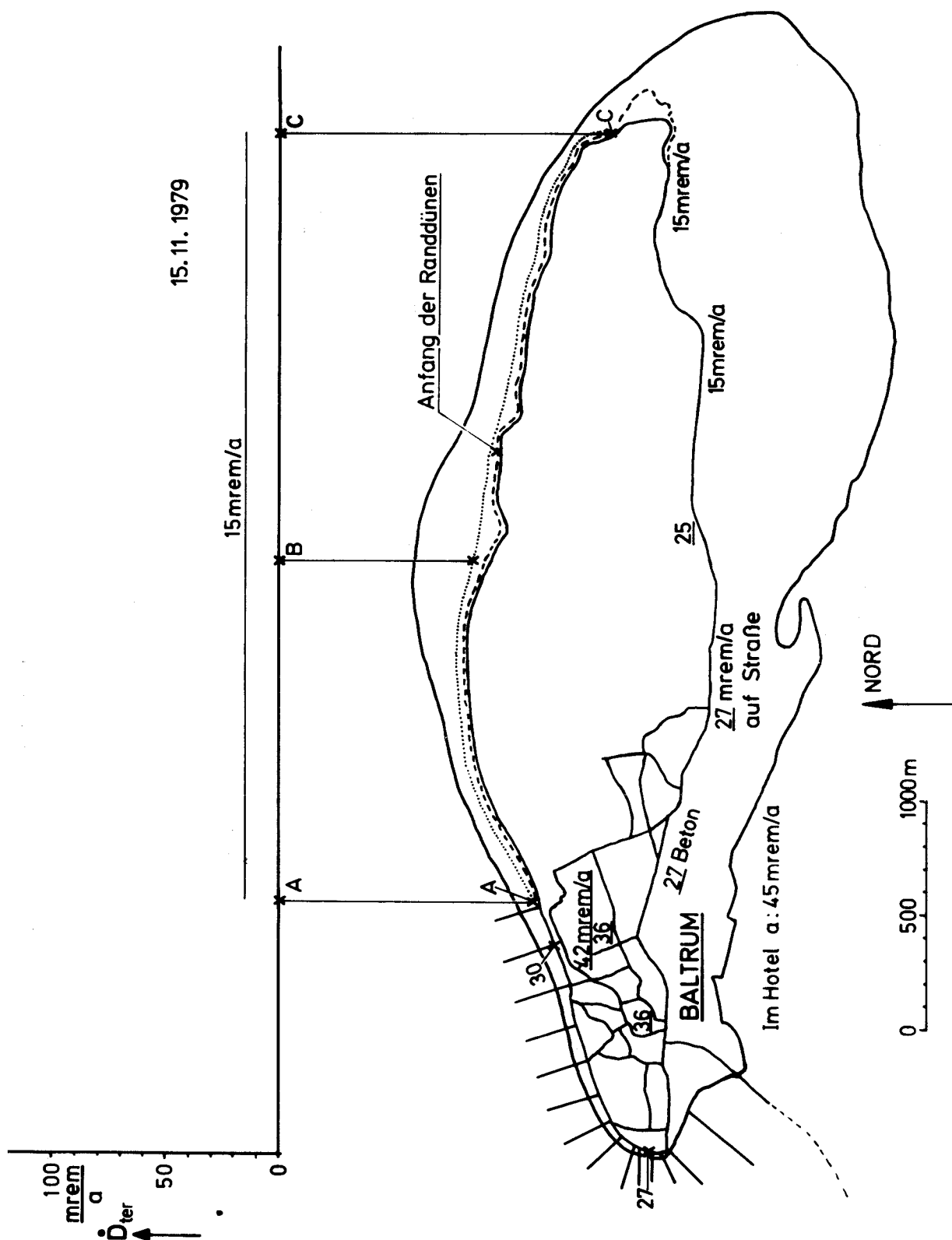


Abb. 13.1: Ortsdosisleistung durch terrestrische Strahlung auf der Insel Baltrum und Ortsdosisleistungsverlauf am Strand in der Nähe der Randdünen in 1 m Höhe

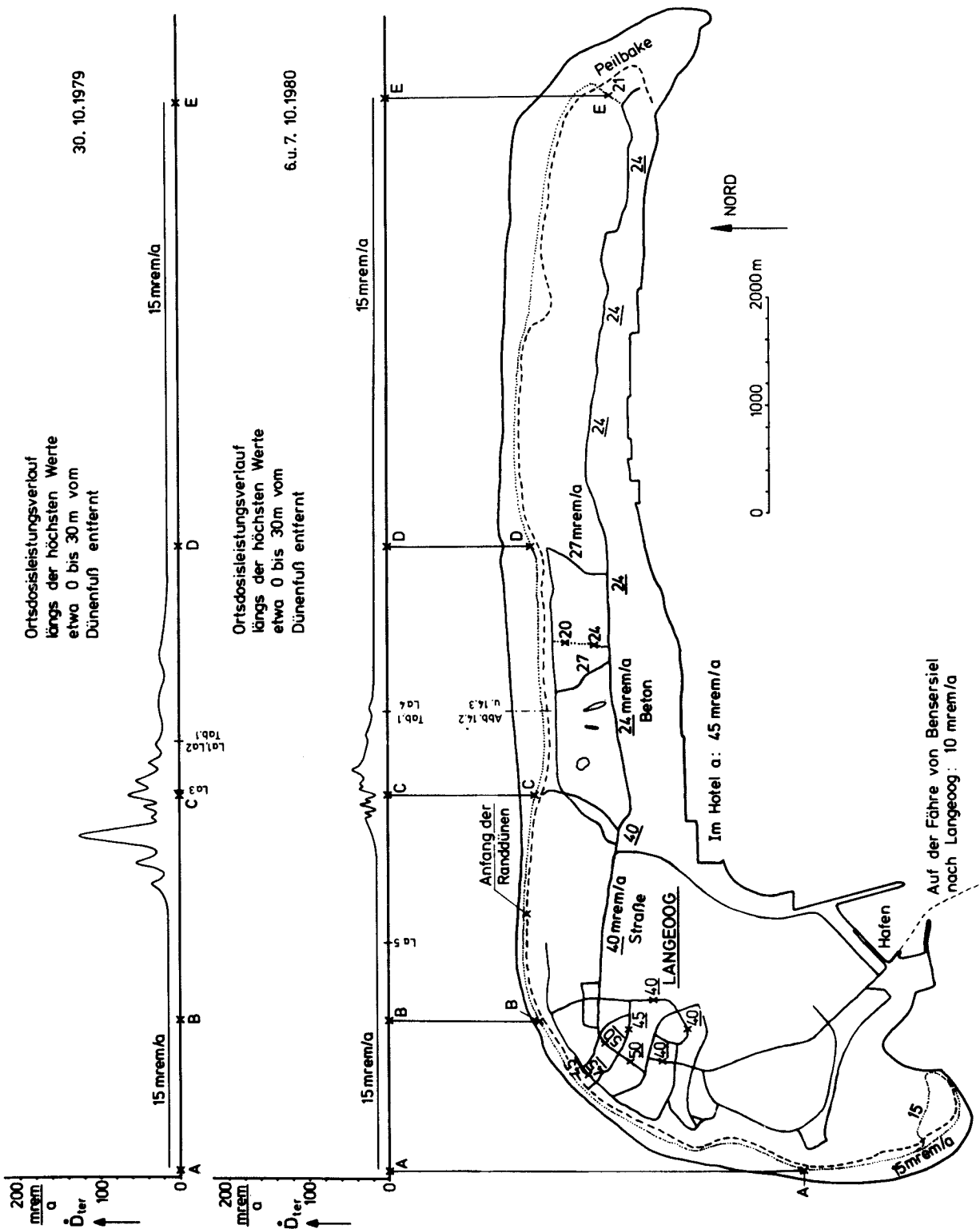


Abb. 14.1: Ortsdosisleistung durch terrestrische Strahlung auf der Insel Langeoog und Ortsdosisleistungsverlauf am Strand in der Nähe der Randdünen in 1 m Höhe

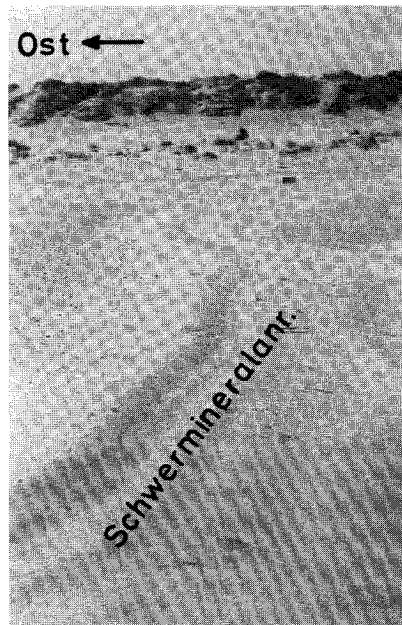


Abb. 14.3: wie Abb. 14.2

Abb. 14.2: Schwermineralanreicherungen
am Strand von Langeoog
im Jahre 1980

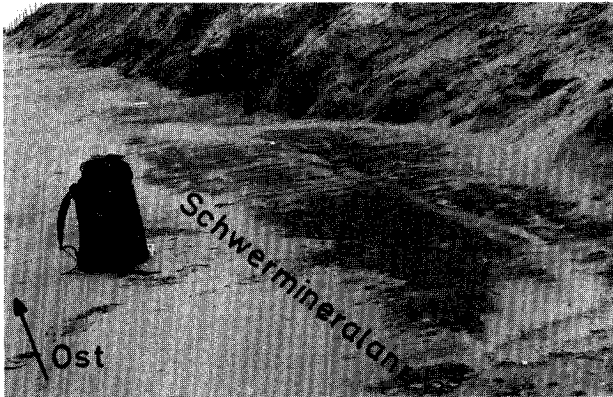


Abb. 15.2: Schwermineralanreicherungen
am Nordstrand von Spiekeroog
im Jahre 1980

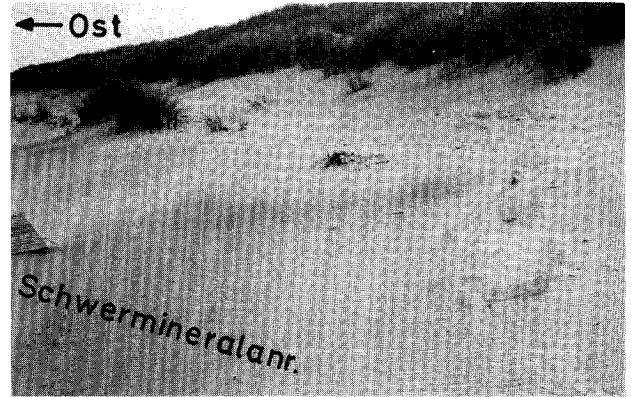


Abb. 15.3: wie Abb. 15.2

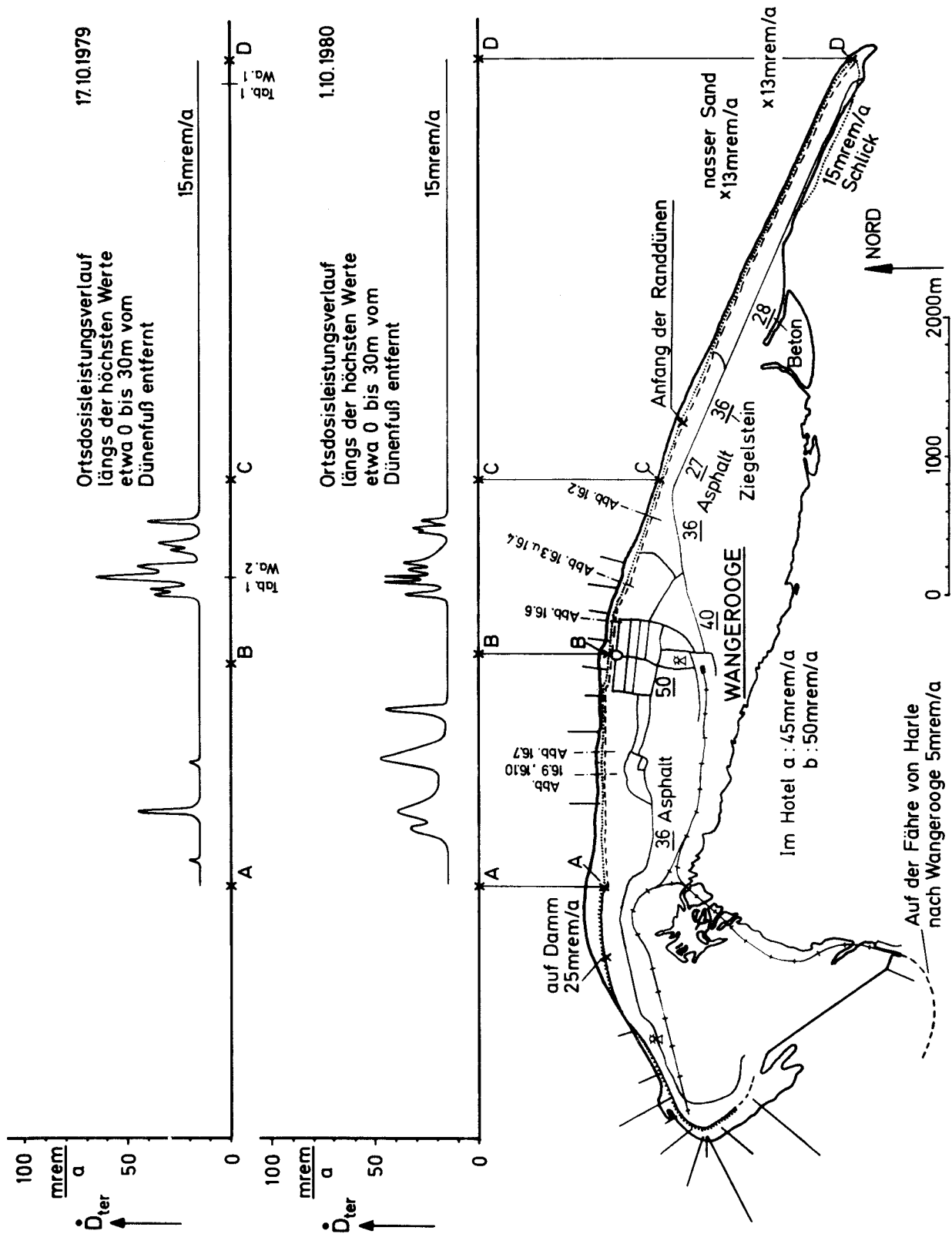


Abb. 16.1: Ortsdosisleistung durch terrestrische Strahlung auf der Insel Wangerooge und Ortsdosisleistungsverlauf am Strand in der Nähe der Randdünen in 1 m Höhe

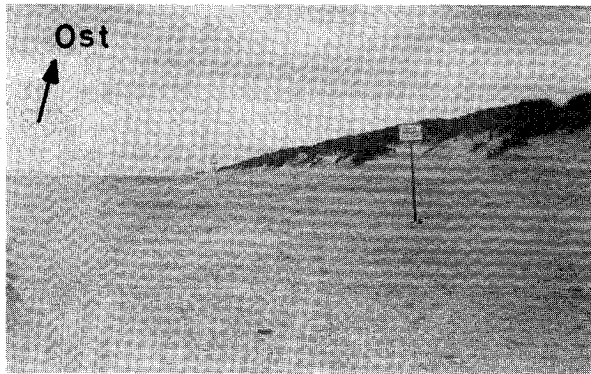


Abb. 16.2: Schwermineralanreicherungen am Badestrand von Wangerooge im Jahre 1979

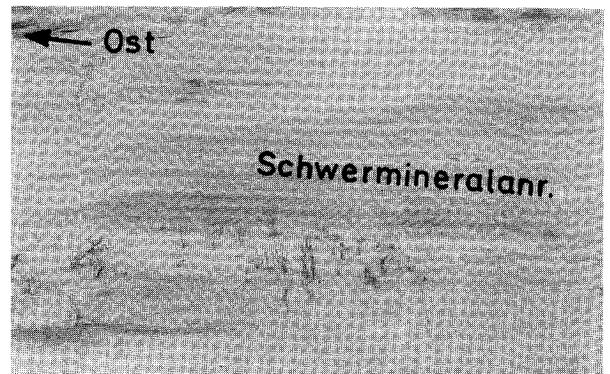


Abb. 16.3: wie Abb. 16.2, jedoch weiter westlich nahe des Dünenfußes

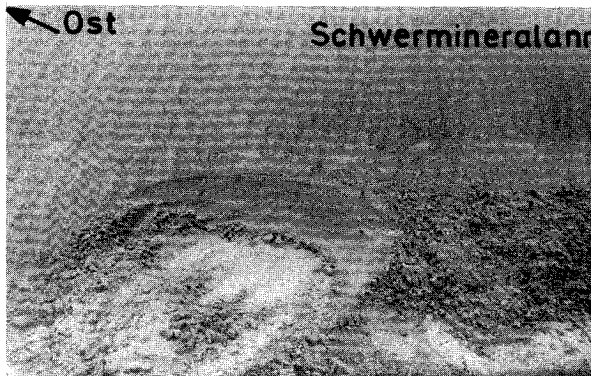


Abb. 16.4: Bodenprofil am Ort von Abb. 16.3

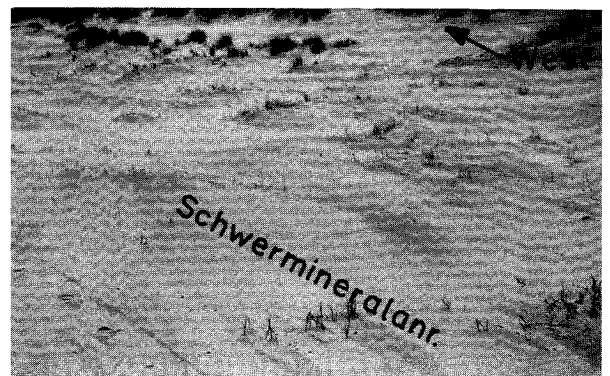


Abb. 16.5: wie Abb. 16.3, jedoch weiter westlich

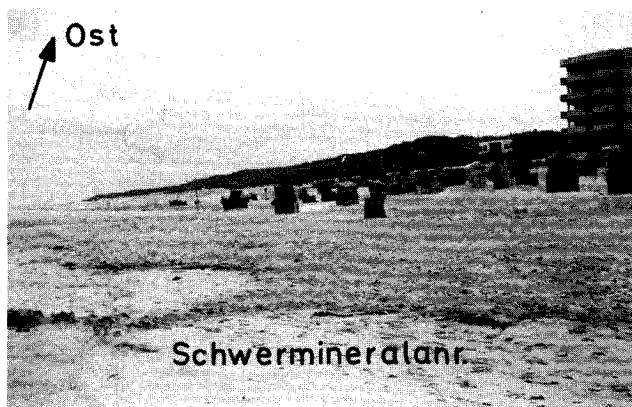


Abb. 16.6: wie Abb. 16.2 in Höhe des Ortes Wangerooge

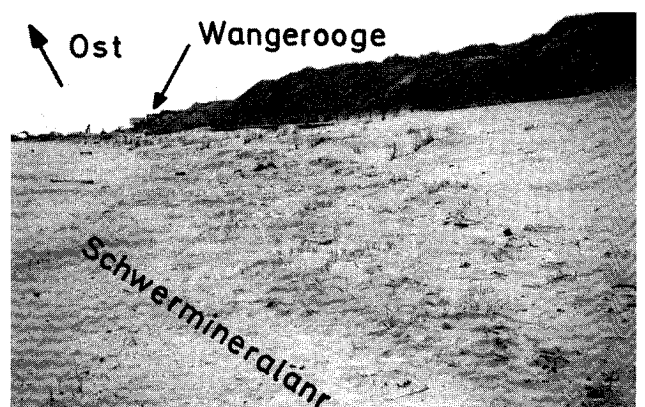


Abb. 16.7: wie Abb. 16.2, jedoch westlich des Ortes Wangerooge

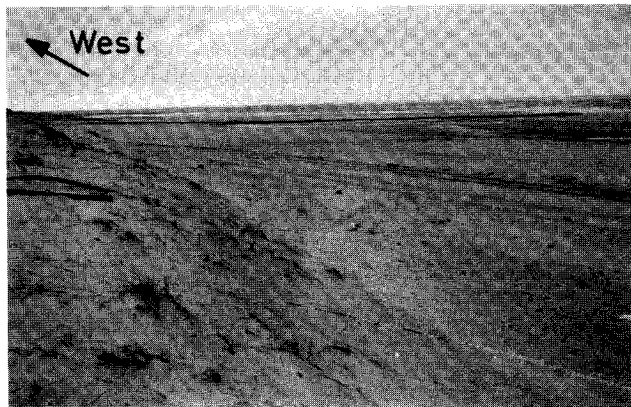


Abb. 16.8: wie Abb. 16.7, vom Dünenkopf in nordwestlicher Richtung fotografiert

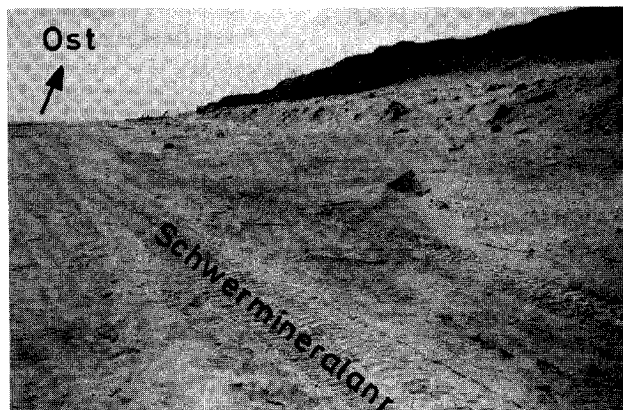


Abb. 16.9: wie Abb. 16.7, jedoch weiter westlich



Abb. 16.10: wie Abb. 16.9, jedoch im Jahre 1980

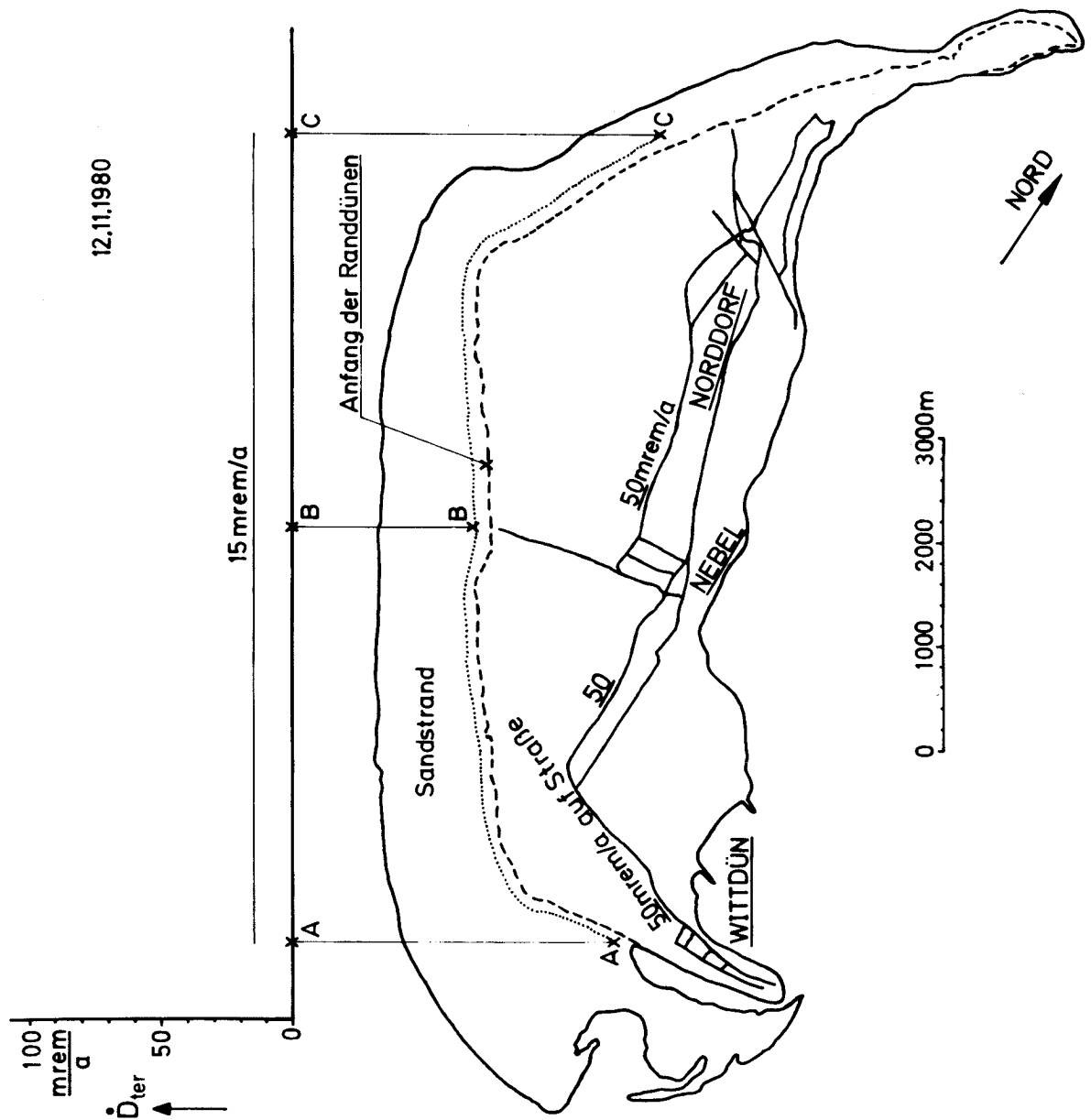


Abb. 17.1: Ortsdosisleistung durch terrestrische Strahlung auf der Insel Amrum und Ortsdosisleistungsverlauf am Strand in der Nähe der Randdünen in 1 m Höhe

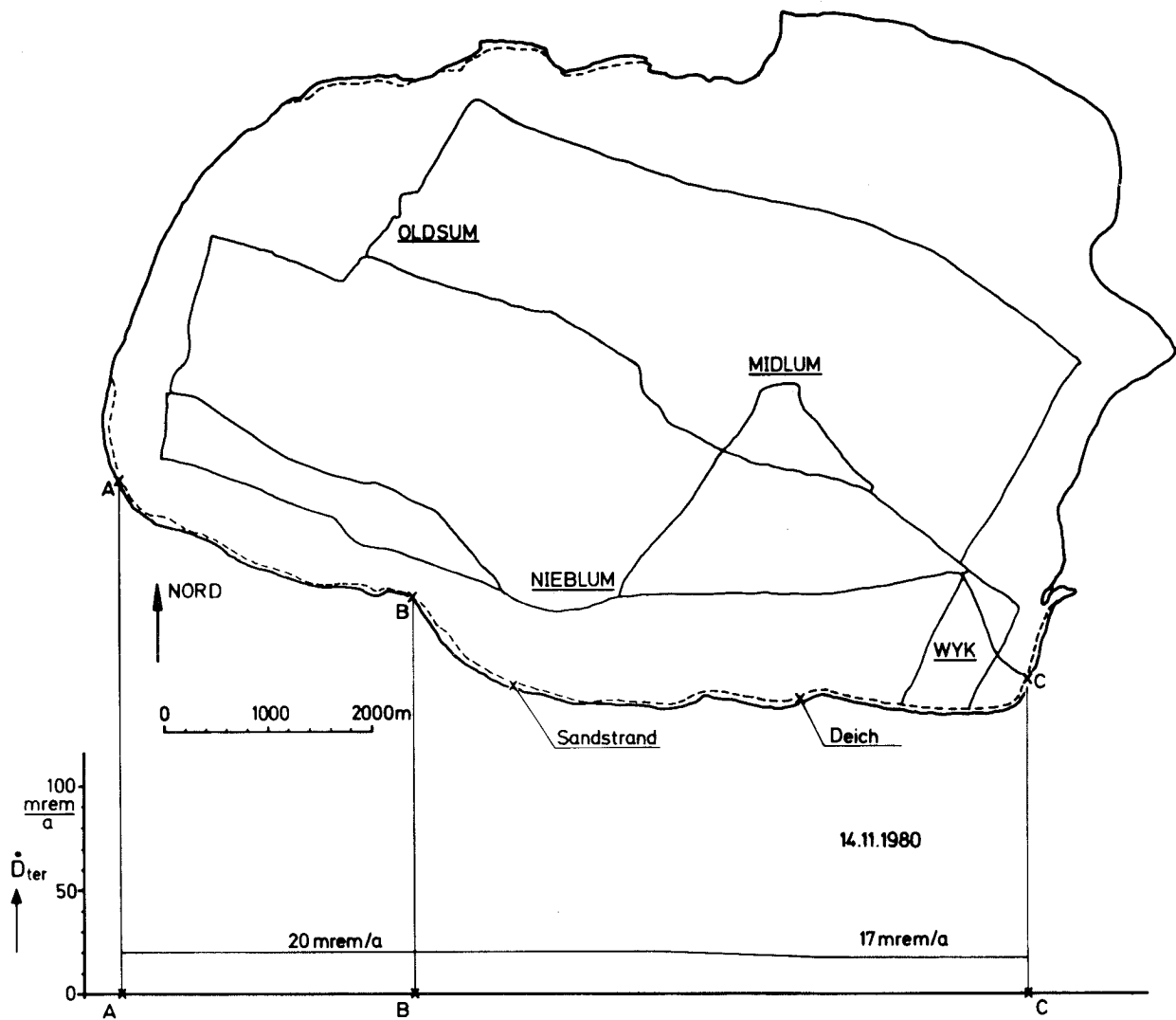


Abb. 18.1: Ortsdosisleistung durch terrestrische Strahlung auf der Insel Föhr und Ortsdosisleistungsverlauf am Strand in der Nähe des Deichs in 1 m Höhe

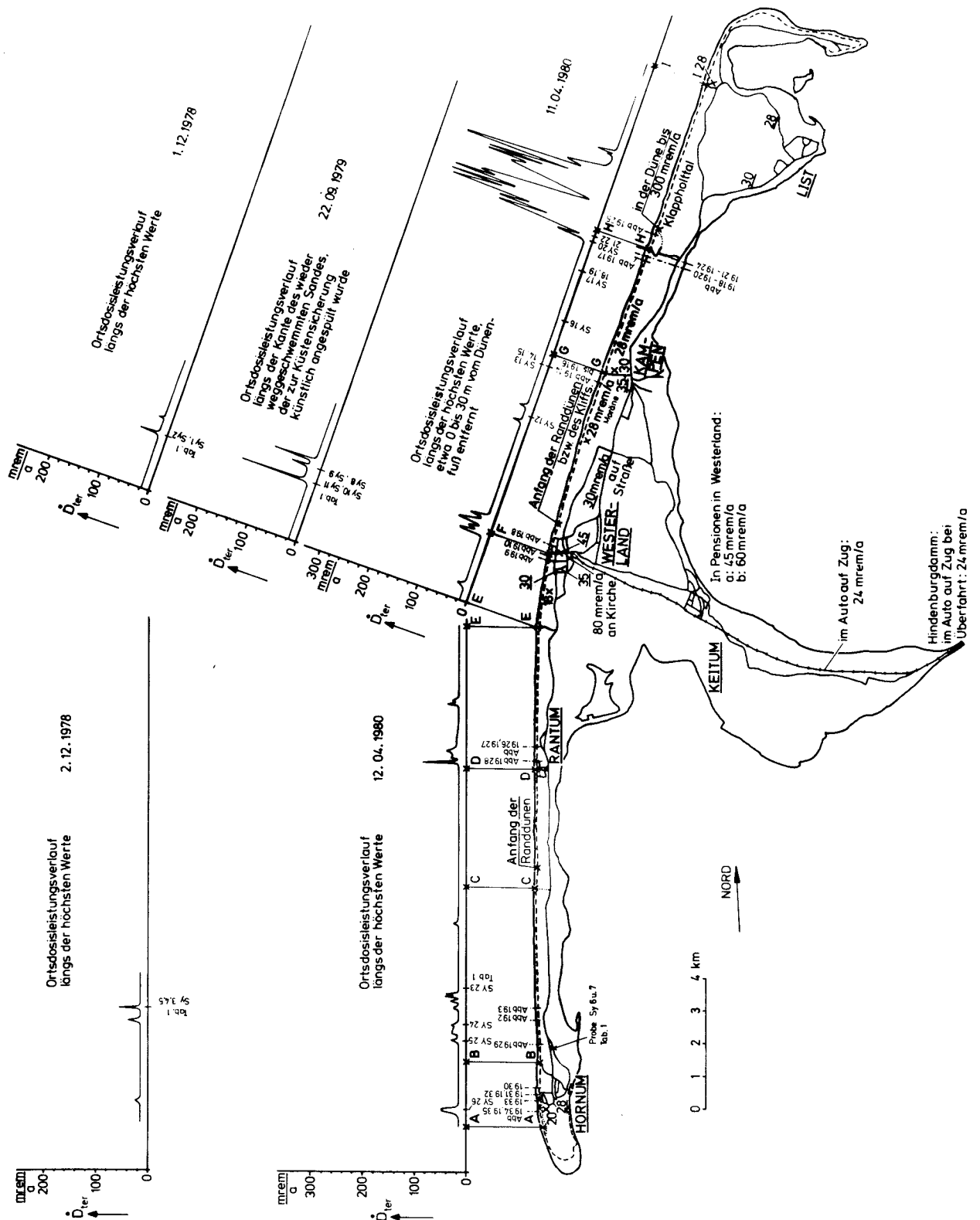


Abb. 19.1: Ortsdosisleistung durch terrestrische Strahlung auf der Insel Sylt und Ortsdosisleistungsverlauf am Strand in der Nähe der Randdünen bzw. dem Moränenhang in 1 m Höhe



Abb. 19.2: Schwermineralanreicherungen an der Südspitze von Sylt im Jahre 1978



Abb. 19.3: wie Abb. 19.2, jedoch weiter nördlich

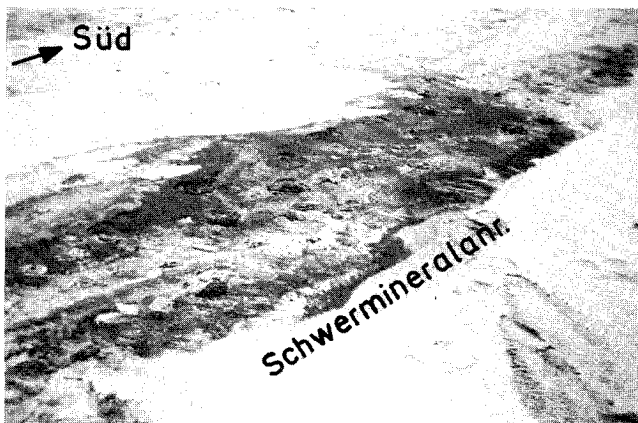


Abb. 19.4: Ausschnitt aus dem Bereich um Abb. 19.3

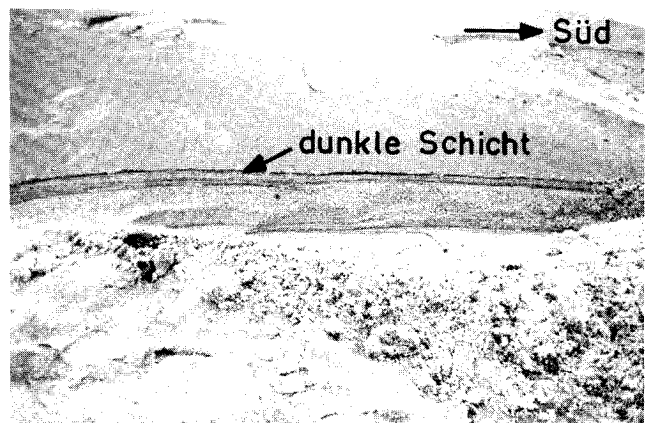


Abb. 19.5: Bodenprofil im Bereich um Abb. 19.3

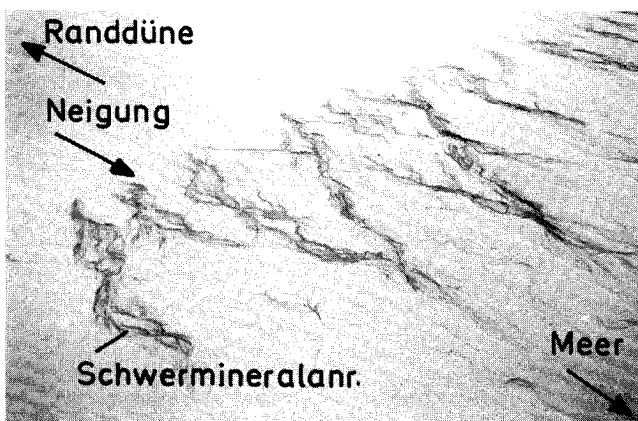


Abb. 19.6: Ausschnitt vom Strand um Abb. 19.3

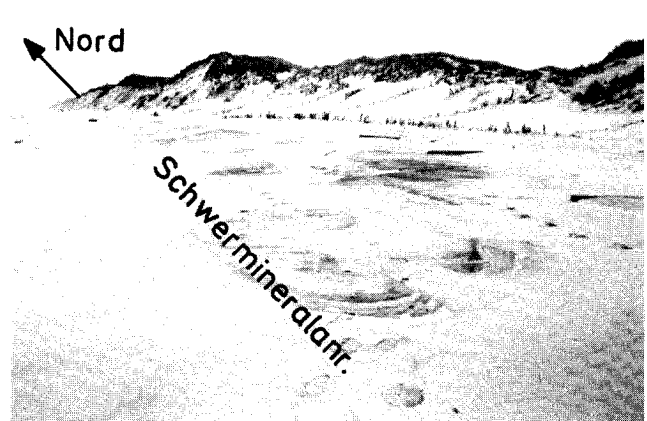


Abb. 19.7: wie Abb. 19.3, jedoch weiter nördlich

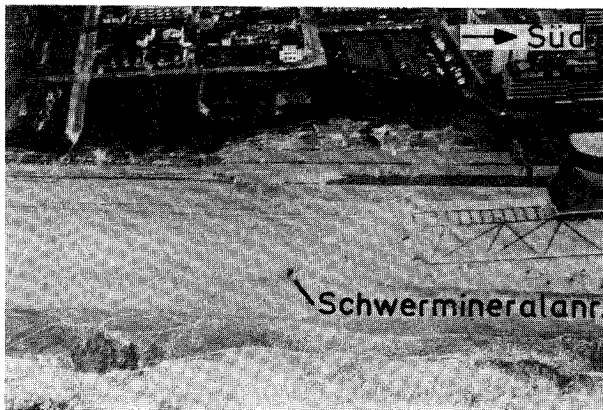


Abb. 19.8: Schwermineralanreicherungen am Strand von Westerland auf Sylt im Jahre 1979
Freigeg.v.Reg.Präs. Düsseldorf Nr. OL 849

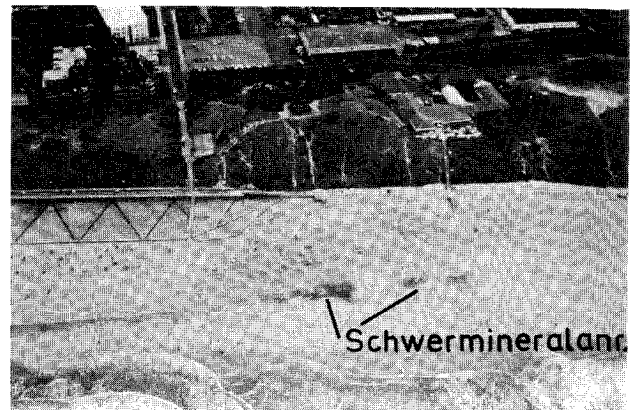


Abb. 19.9: wie Abb. 19.8 , jedoch weiter südlich
Freigeg. v. Reg.Präs. Düsseldorf Nr. OL 850

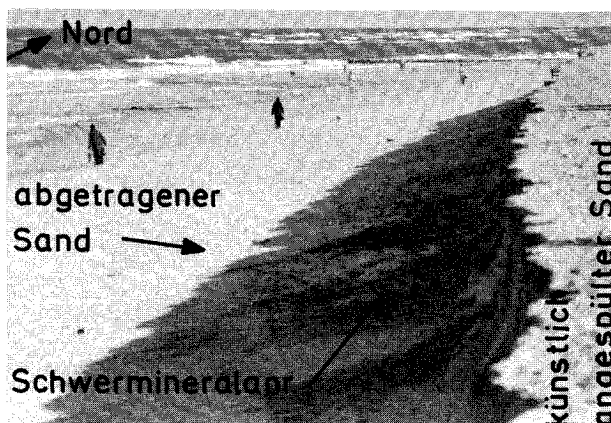


Abb. 19.10: Abtrag des künstlich angeschwemmten Sandes durch angreifende See

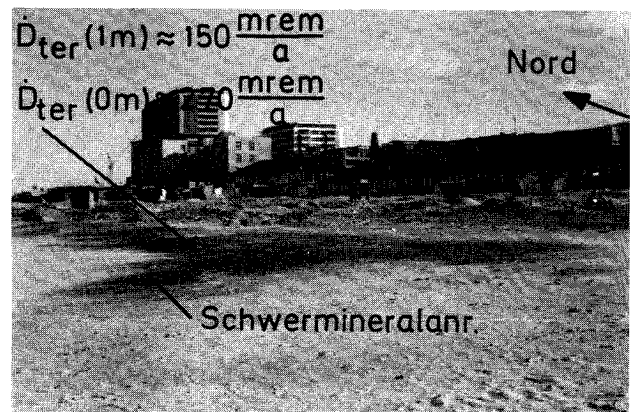


Abb. 19.11: wie Abb. 19.9

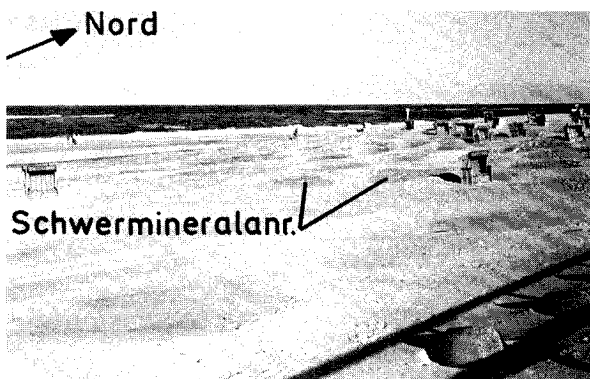


Abb. 19.12: wie Abb. 19.9

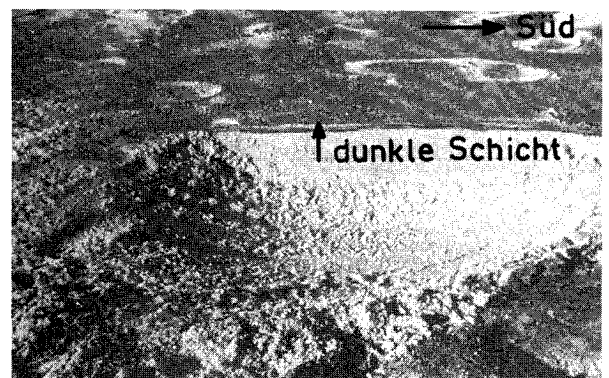


Abb. 19.13: Bodenprofil bei Abb. 19.11

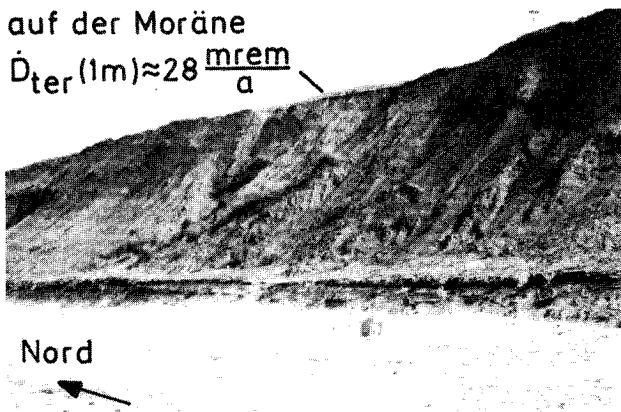


Abb. 19.14: Kliff in Höhe von Kampen auf Sylt im Jahre 1980

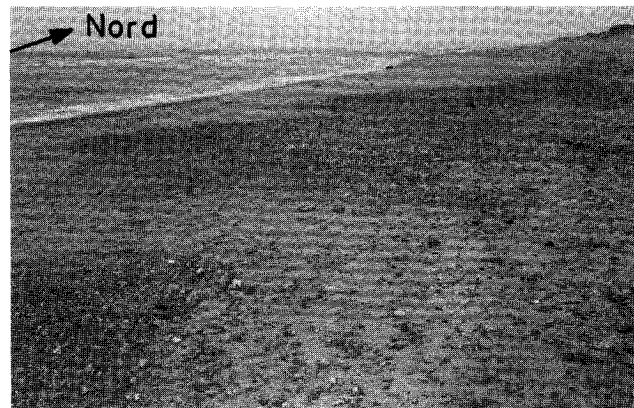


Abb. 19.15: Steine aus der Moräne von Abb. 19.14



Abb. 19.16: wie Abb. 19.15

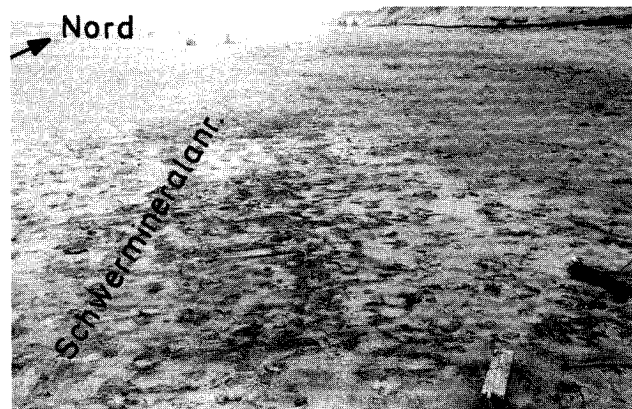


Abb. 19.17: Schwermineralanreicherungen südlich des Erholungsheims Klappholtal auf Sylt im Jahre 1980



Abb. 19.18: In Höhe von Abb. 19.17, Randdünenhang

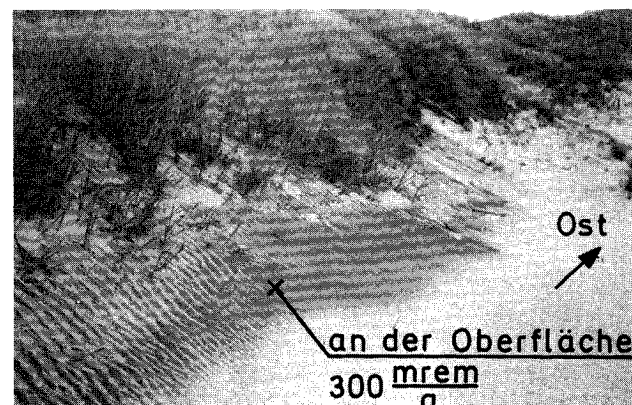


Abb. 19.19: Hinter dem Dünenkopf von Abb. 19.18 im Windschatten



Abb. 19.20: wie Abb. 19.17 nahe des Dünenüberganges

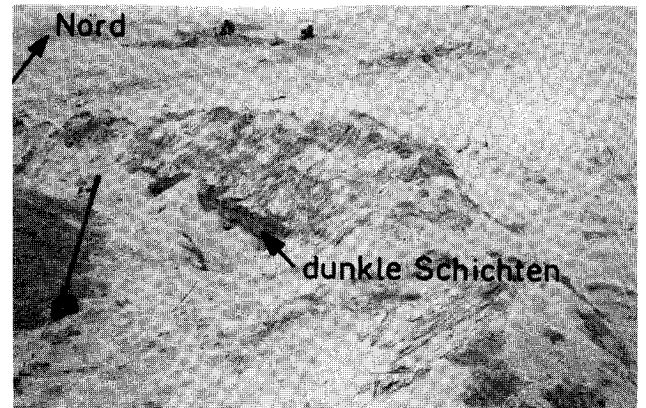


Abb. 19.21: Strandburg von Abb. 19.20

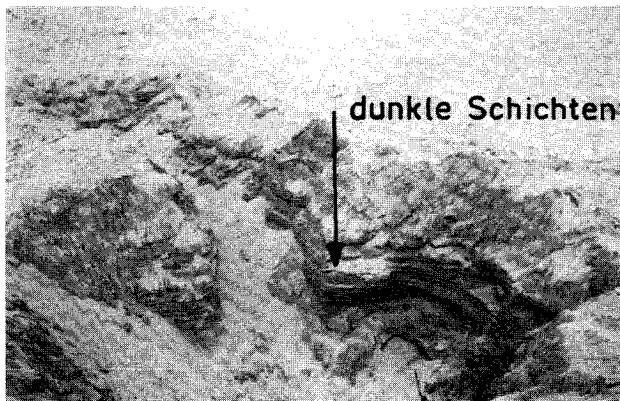


Abb. 19.22: wie Abb. 19.21



Abb. 19.23: In der Nähe des Dünenüberganges

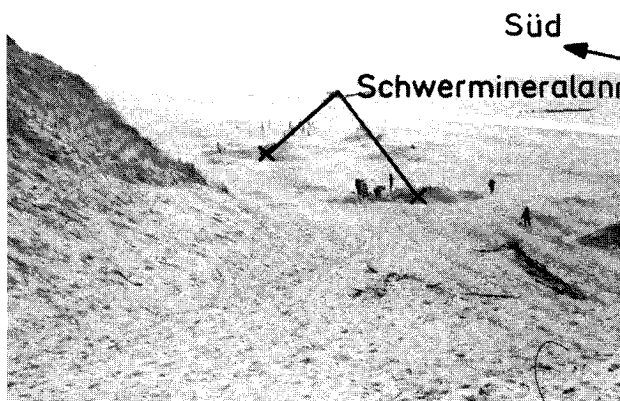


Abb. 19.24: Dünenübergang am Erholungsheim Klappholtal

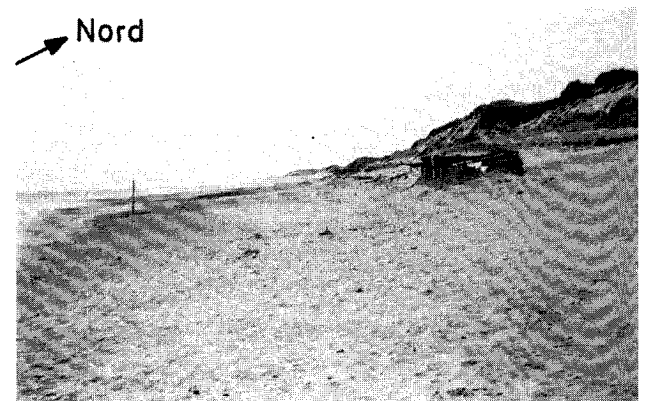


Abb. 19.25: wie Abb. 19.23, jedoch weiter nördlich



Abb. 19.26: Strandburg mit Schwermineralanreicherungen bei Rantum auf Sylt im Jahre 1980



Abb. 19.27: wie Abb. 19.26



Abb. 19.28: Schwermineralanreicherungen am Strand von Rantum im Jahre 1980

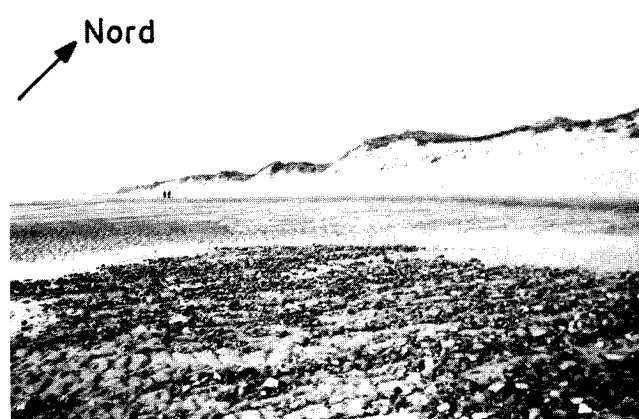


Abb. 19.29: Steine aus der Moräne der Südspitze von Sylt im Jahre 1980



Abb. 19.30: Schwermineralanreicherungen am Strand von Hörnum auf Sylt im Jahre 1980



Abb. 19.31: Auf dem Dünenübergang am Strand von Hörnum

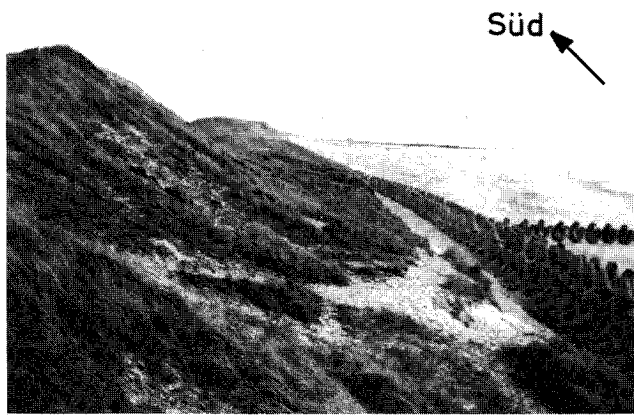


Abb. 19.32: wie Abb. 19.31

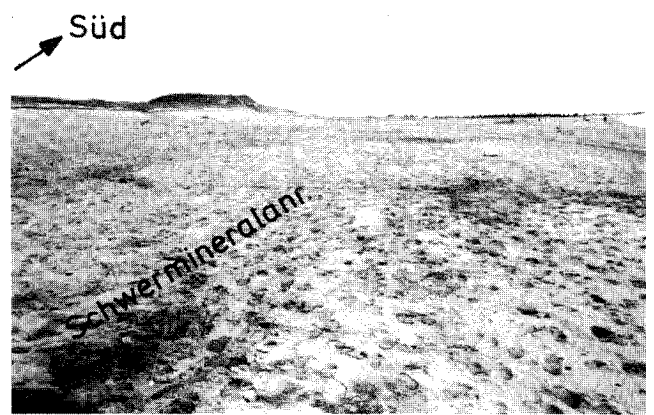


Abb. 19.33: wie Abb. 19.30, jedoch südlich des Dünenüberganges



Abb. 19.34: südlich von Abb. 19.33



Abb. 19.35: wie Abb. 19.34, jedoch nach Norden photographiert

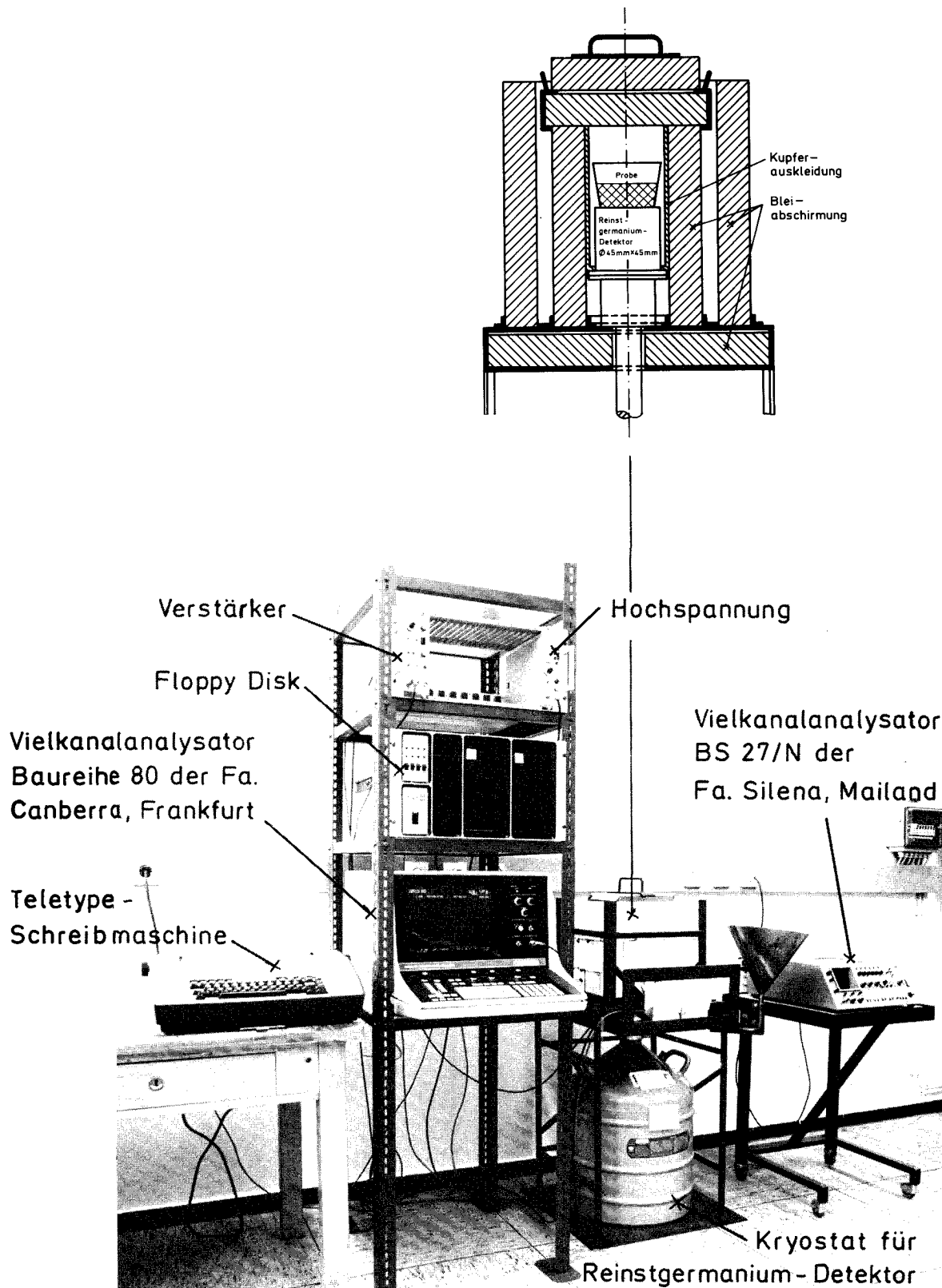


Abb. 20: Anordnung für gammaspektrometrische Messungen

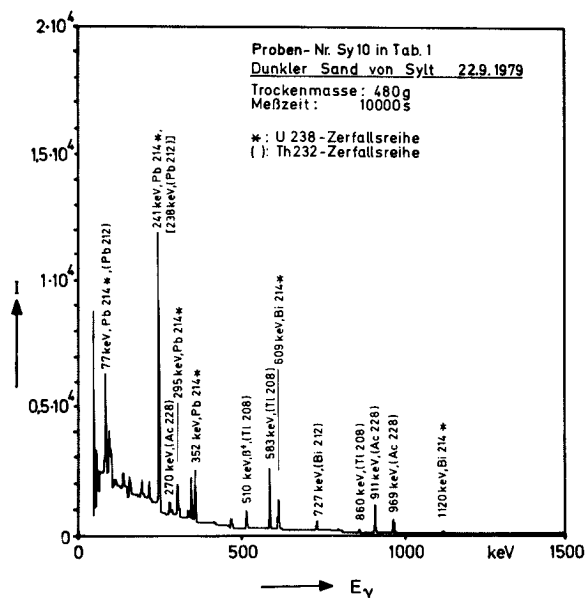
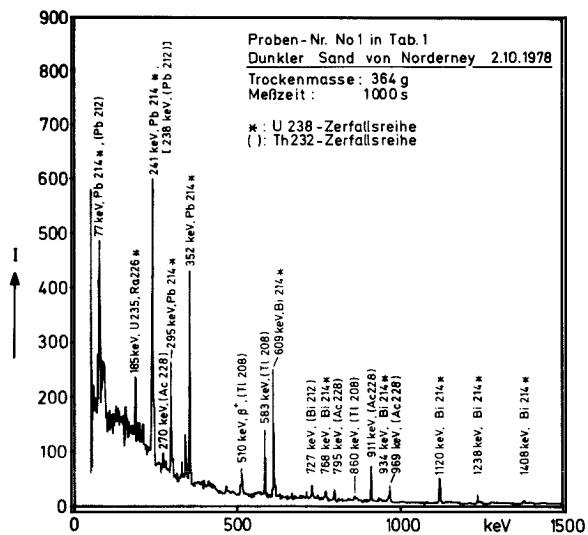
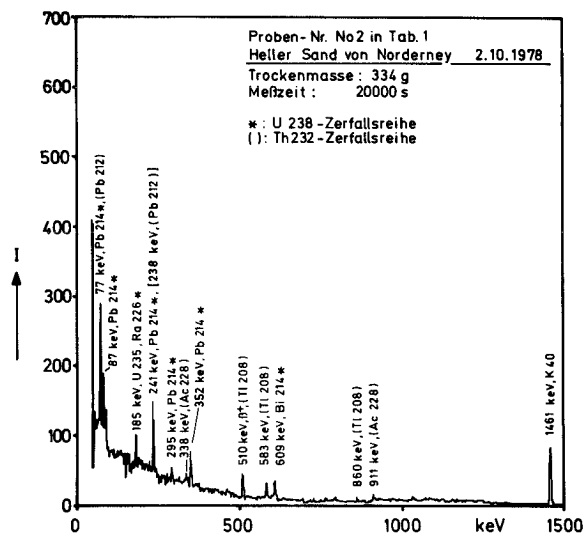


Abb. 21: Gammaspektrum von einer hellen Sandprobe und von zwei dunklen Sandproben mit Schwermineralanreicherungen

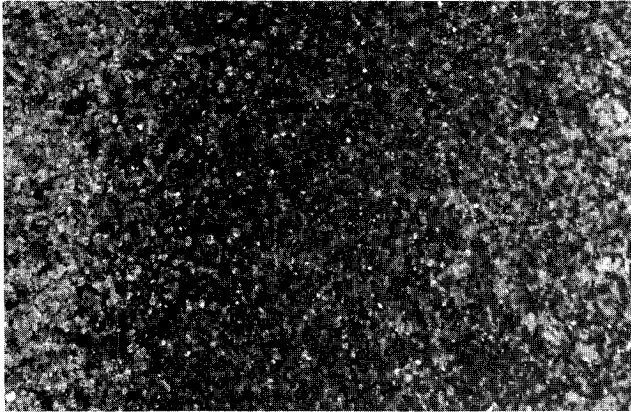


Abb. 22.1: Nahaufnahme des dunklen Sandes No 1 in Tab. 1

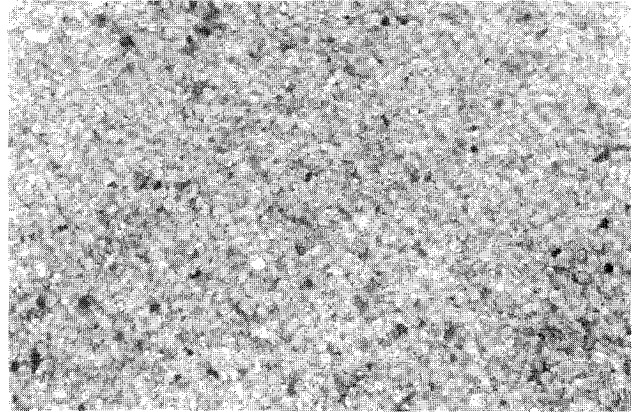
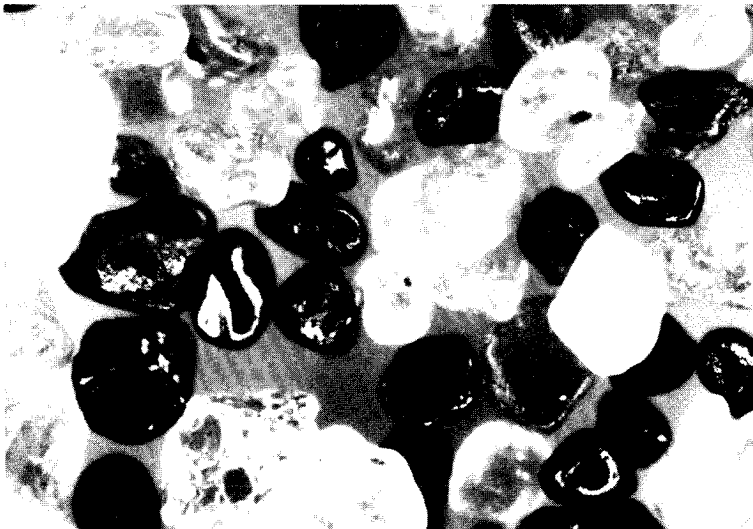
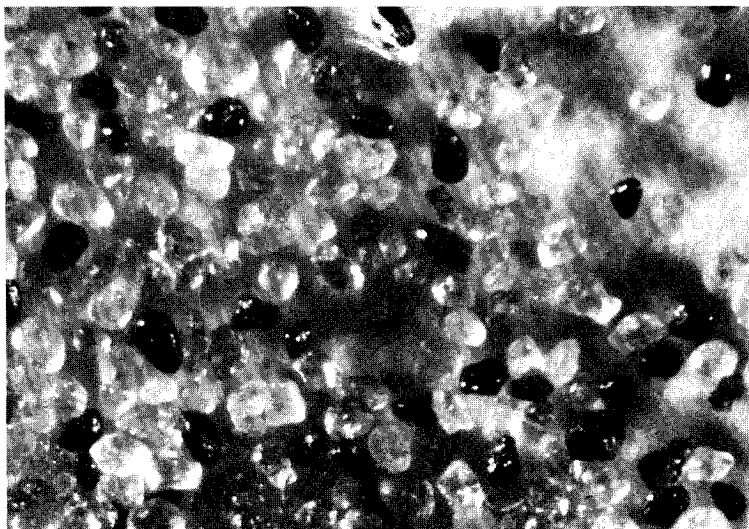


Abb. 22.2: Nahaufnahme des hellen Sandes No 2 in Tab. 1



0 0,2 0,4 mm

Abb. 22.3: Dunkler Sand No 1 in Tab. 1 unter dem Mikroskop



0 0,5 1 mm

Abb. 22.4: Hellerer Sand unter dem Mikroskop

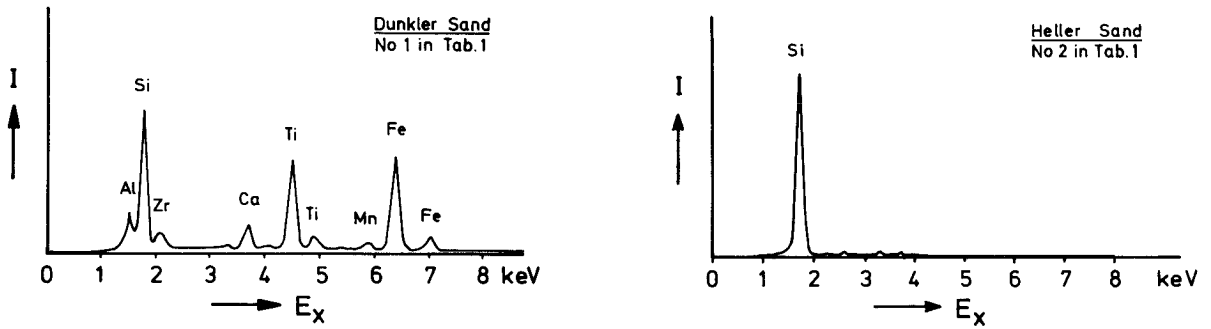


Abb. 23: Röntgenfluoreszenzanalyse von einer dunklen und hellen Sandprobe von Norderney



Abb. 24.1: Dunkler Sand No 1 in Tab. 1 unter einem Elektronenmikroskop (Sandkörner sind mit Graphitstaub überzogen)

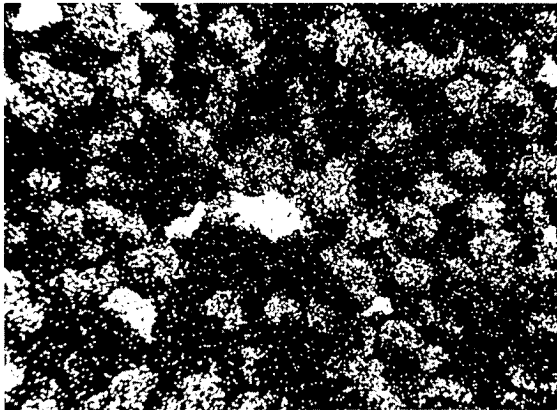


Abb. 24.2: Siliziumverteilung in Abb.24.1

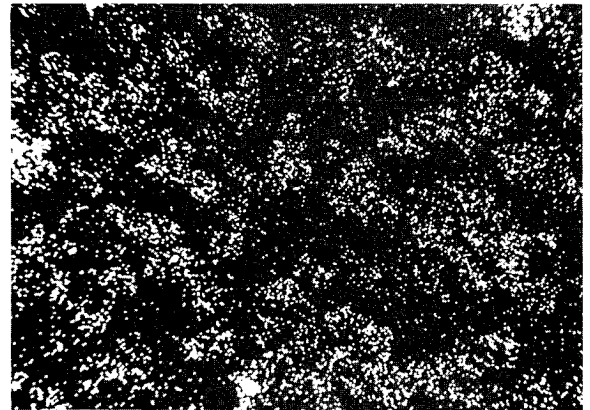


Abb. 24.3: Eisenverteilung in Abb. 24.1

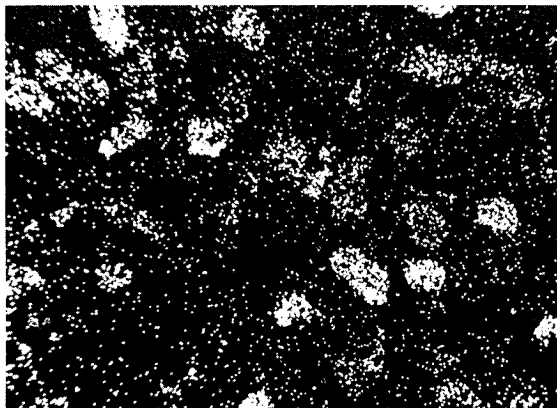


Abb. 24.4: Calziumverteilung in Abb.24.1

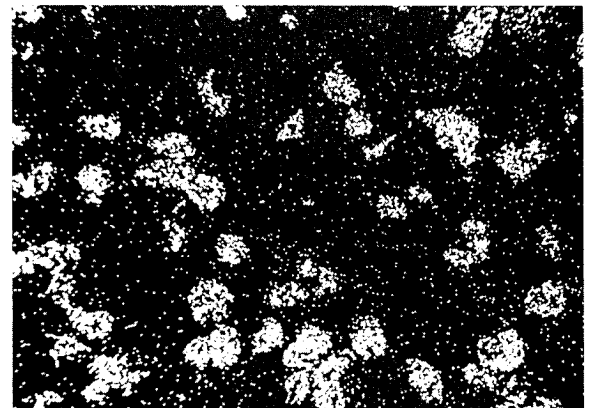


Abb. 24.5: Titanverteilung in Abb. 24.1

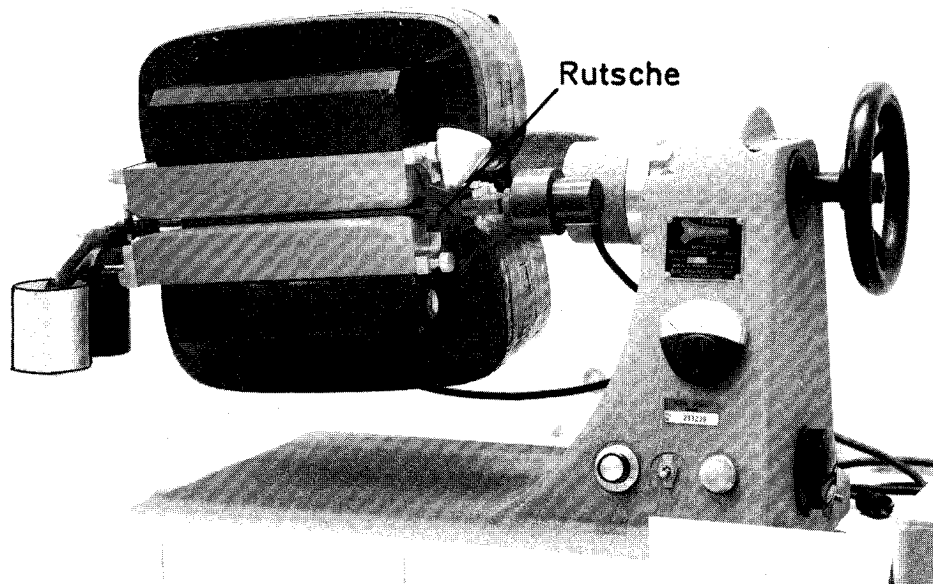


Abb. 25.1: Isodynamischer Magnetabscheider der Firma Frantz & Co. am Institut für Chemische Technologie der Kernforschungsanlage Jülich /Ha 79/

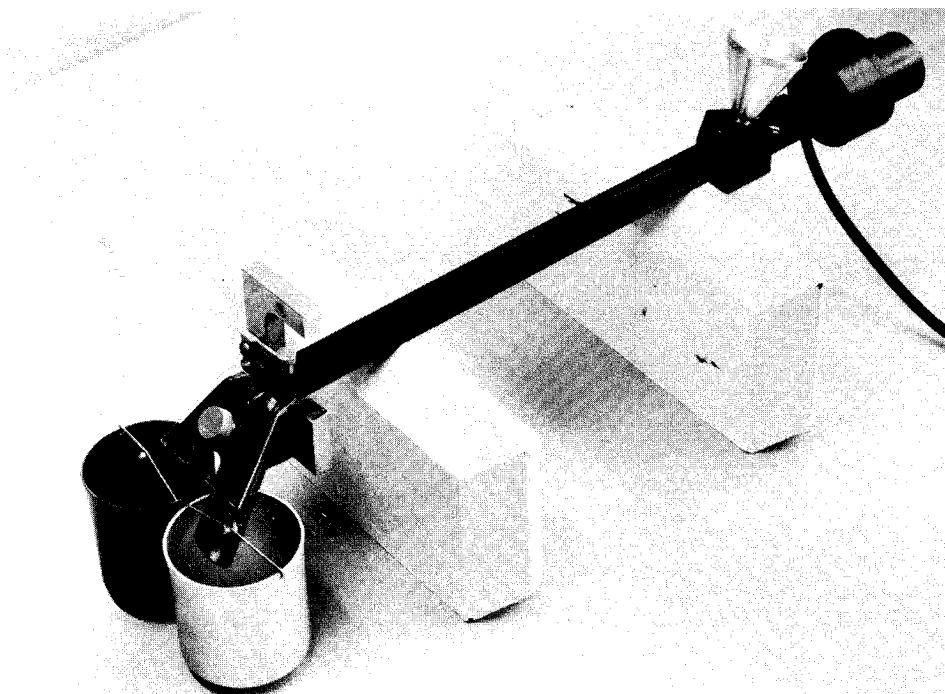


Abb. 25.2: Rutsche des Magnetabscheiders, in dem das Material im Magnetfeld getrennt wird, mit Einfülltrichter, Vibrationseinrichtung, Trennwand und Auffangbehälter

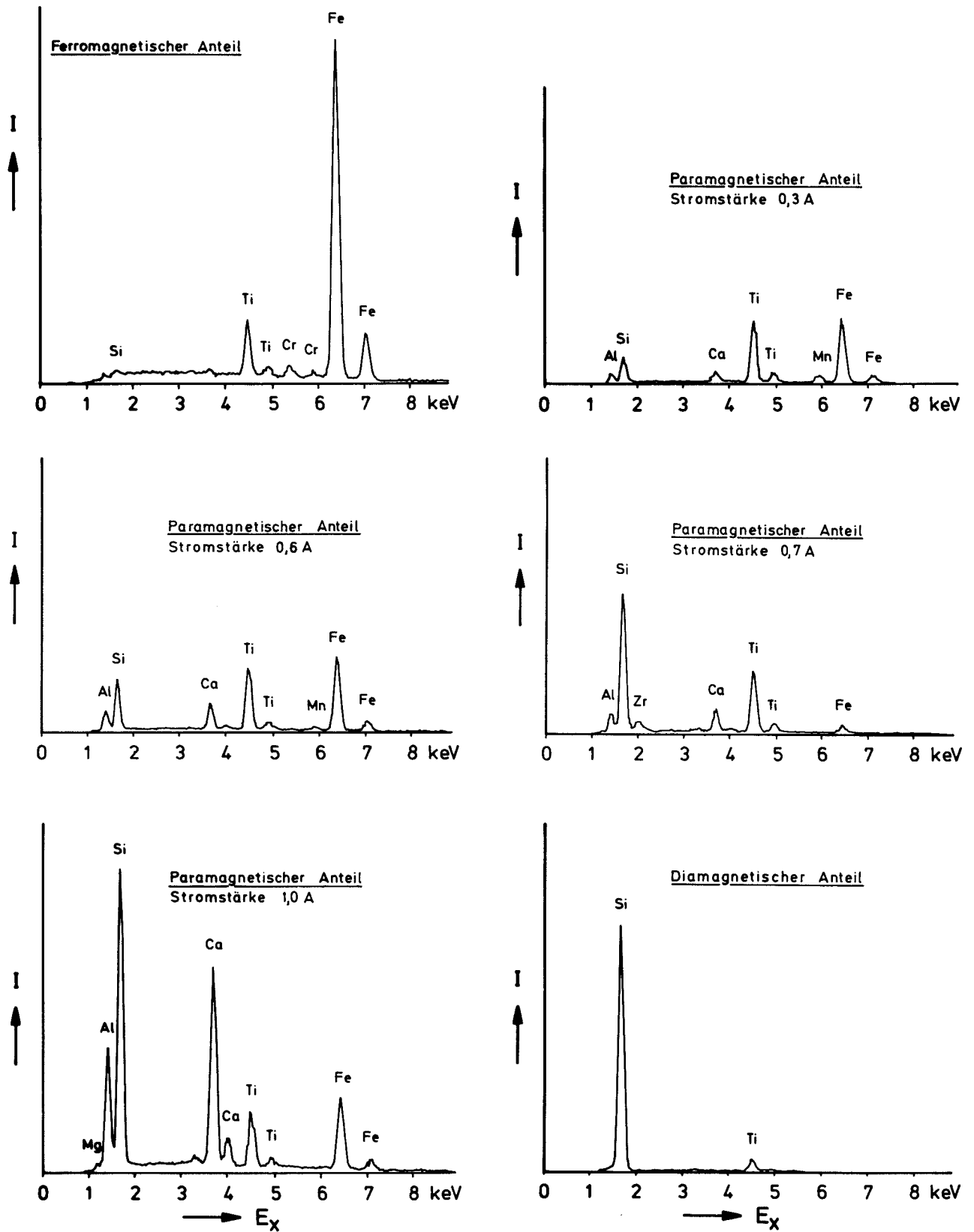


Abb. 26: Röntgenfluoreszenzanalyse von den einzelnen Fraktionen der mit einem Magnetabscheider getrennten dunklen Sandprobe No 1 in Tab. 1, siehe Tab. 2



Abb. 27.1: Ferromagnetischer Anteil von Probe No 1 in Tab. 2 unter einem Elektronenmikroskop

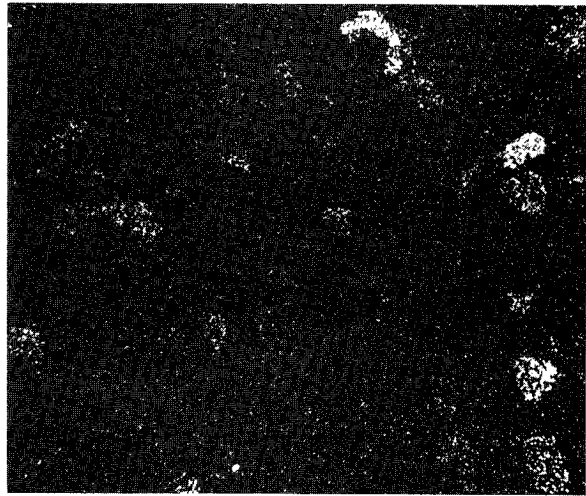


Abb. 27.2: Siliziumverteilung in Abb. 27.1

0 1mm

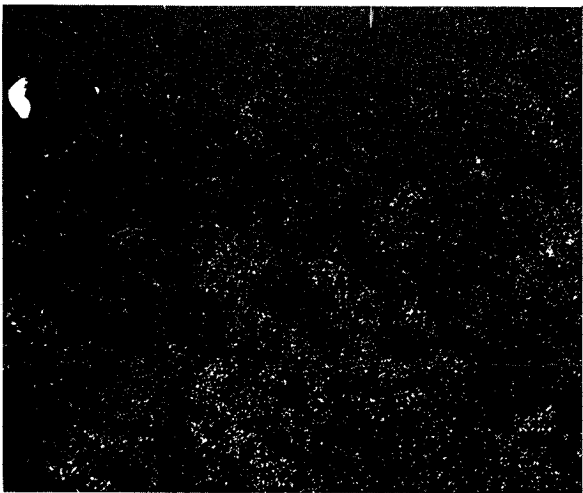


Abb. 27.3: Eisenverteilung in Abb. 27.1

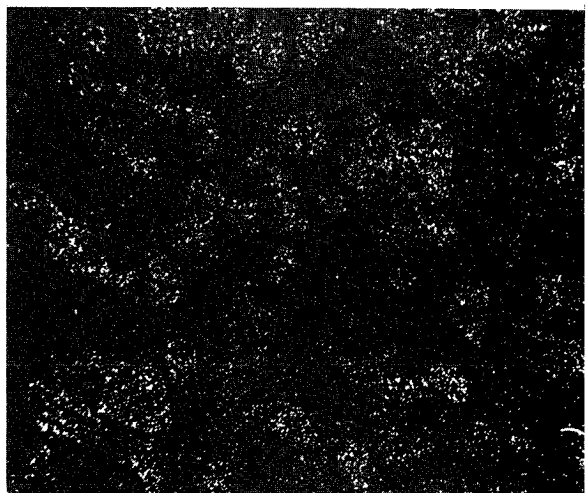


Abb. 27.4: Titanverteilung in Abb. 27.1

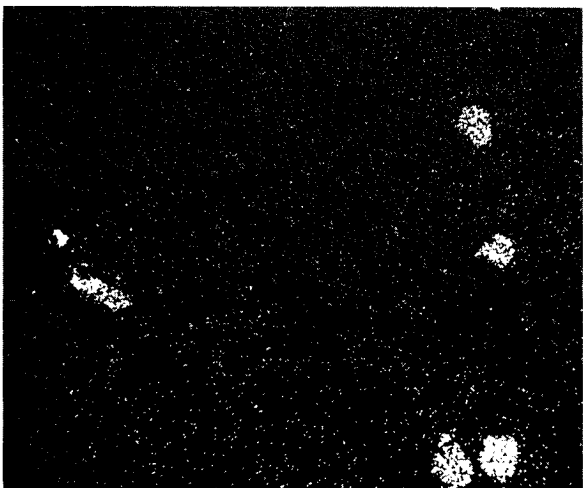


Abb. 27.5: Chromverteilung in Abb. 27.1

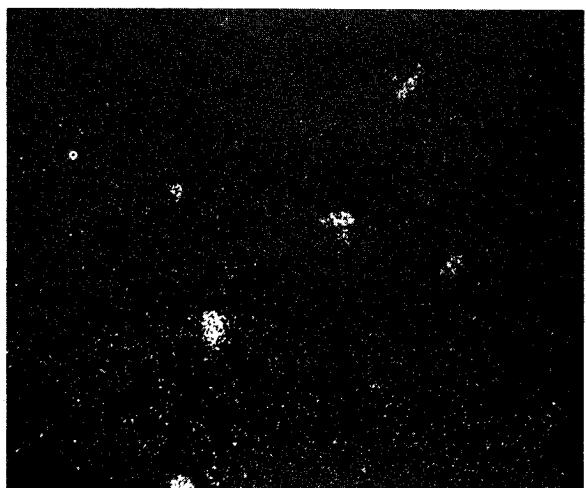


Abb. 27.6: Zirkoniumverteilung in Abb. 27.1

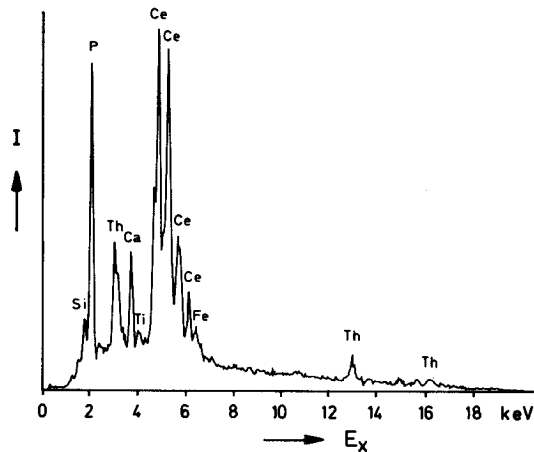


Abb. 28: Röntgenfluoreszenzanalyse von einem Monazit-Korn ($\text{Ce}[\text{PO}_4]$) im paramagnetischen Anteil (Stromstärke 1,0 A) der dunklen Sandprobe No 1 in Tab. 1, siehe Tab. 2 u. Abb. 12.4

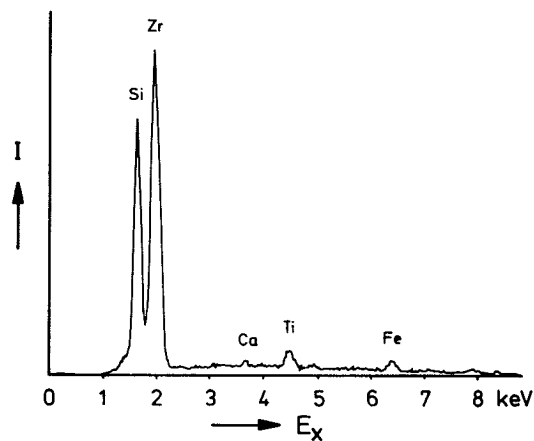
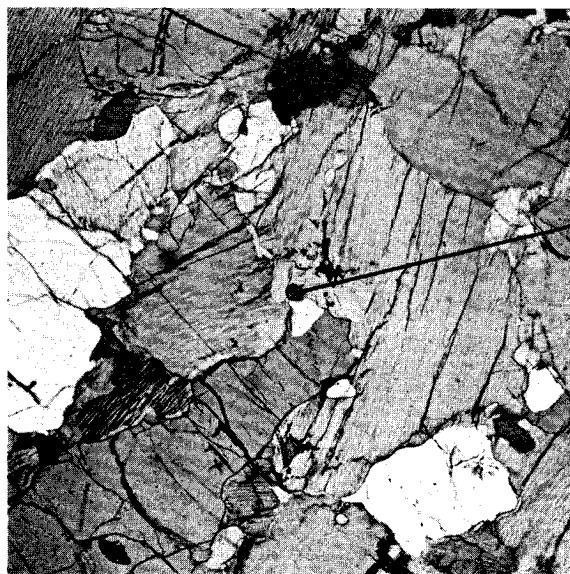


Abb. 29: Röntgenfluoreszenzanalyse von einem Zirkonsilicat-Korn im paramagnetischen Anteil (Stromstärke 0,6 A) der dunklen Sandprobe No 1 in Tab. 1, siehe Tab. 2 u. Abb. 12.4



Zirkonsilicat-Kristall mit
höherer Urankonzentration

Abb. 30: Durchlichtaufnahme eines 30 μm dicken Granit-Scheibchens mit einem Zirkonsilicat-Kristall (ZrSiO_4) in der Mitte nach /De 80/

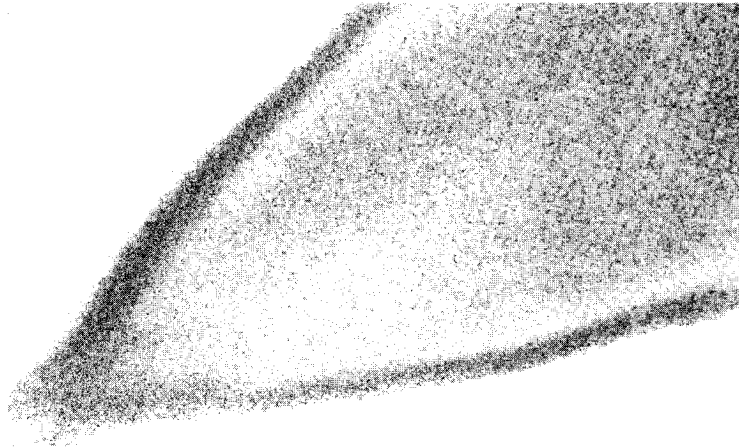


Abb. 31.1: Entmischung des dunklen Sandes beim Herabrollen auf einer schiefen Ebene (Neigung von rechts oben nach links unten)

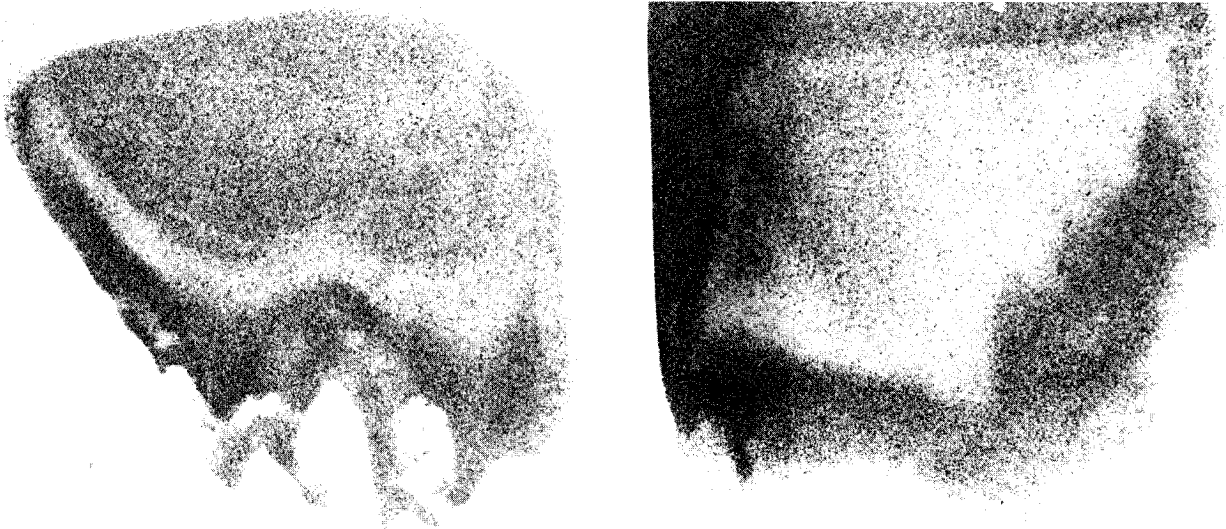


Abb. 31.2: Entmischung des dunklen Sandes bei ruckartiger Bewegung des Papierbodens

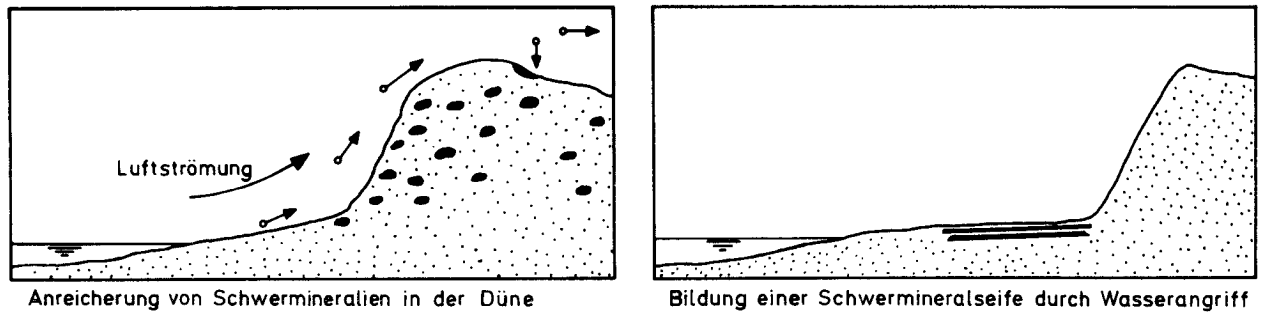


Abb. 32: Bildung einer Schwermineralseife durch Wind und angreifende See

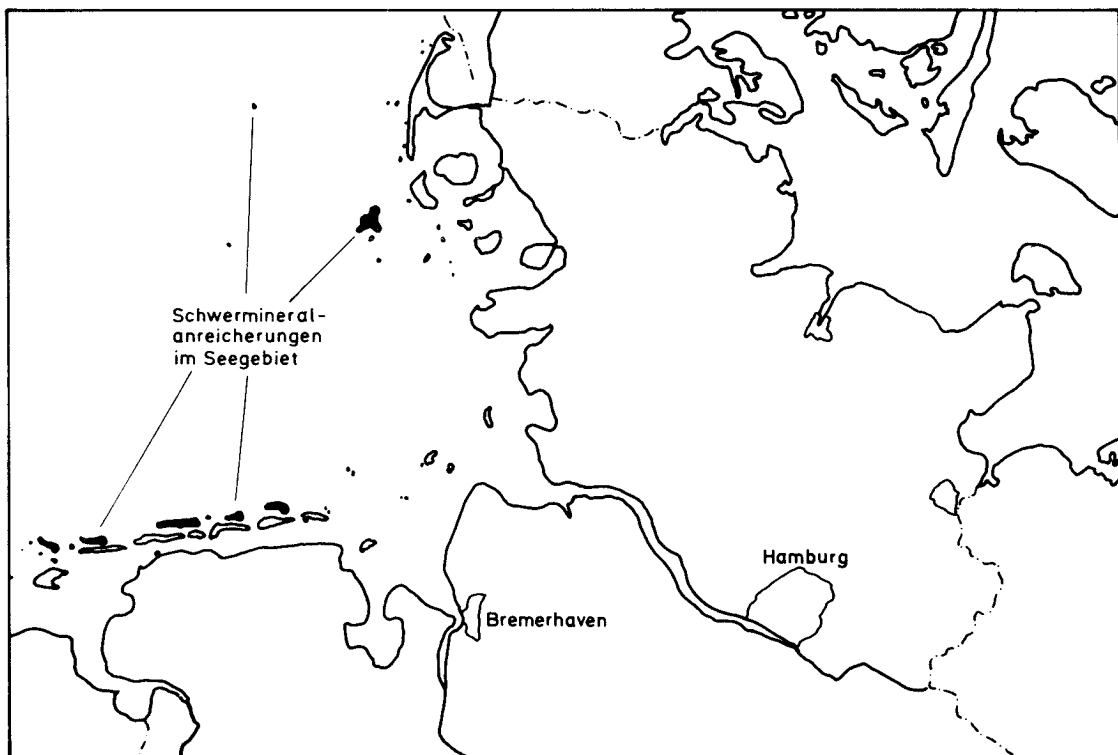
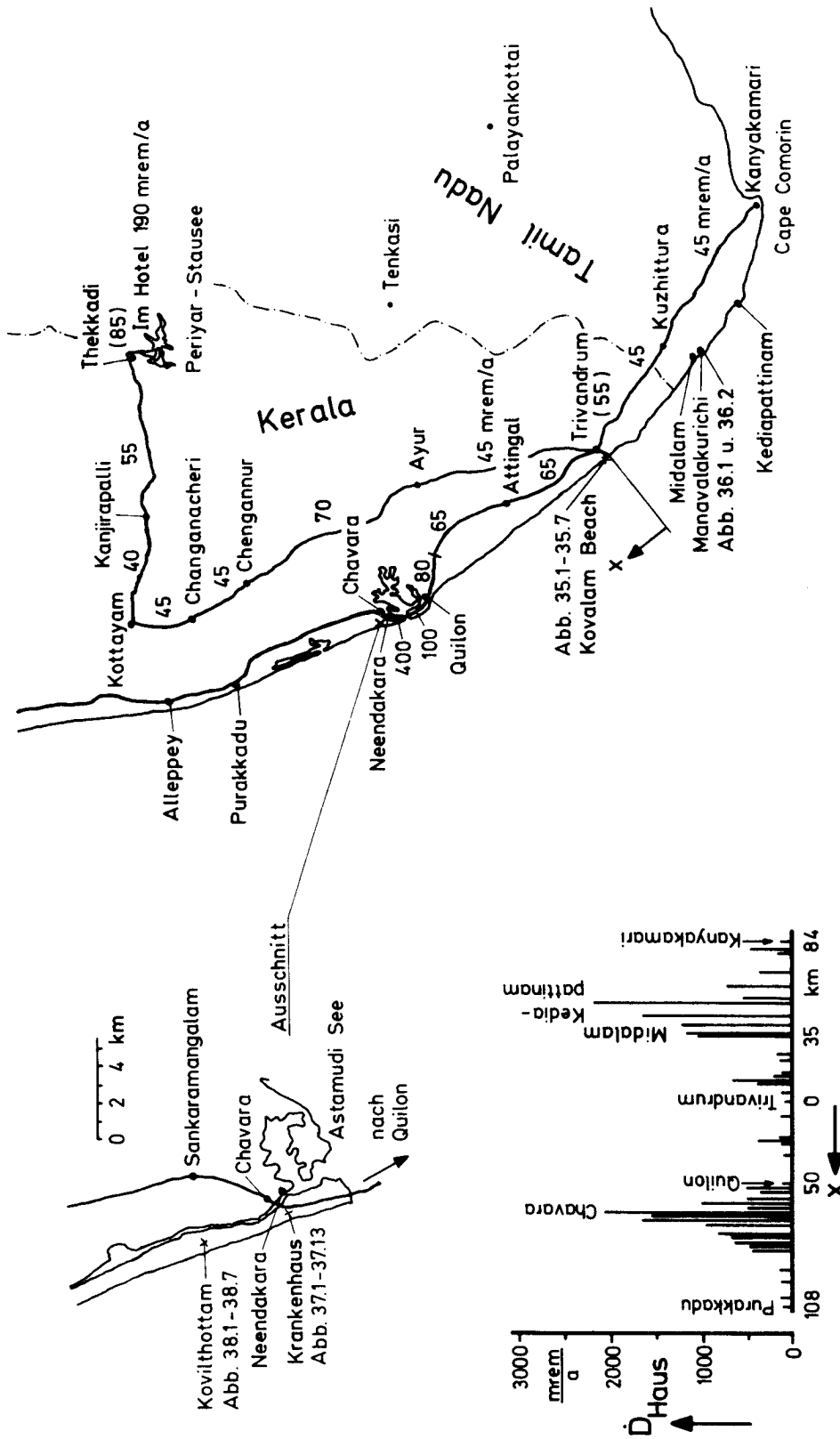


Abb. 33: Gebiete mit Schwermineralanreicherungen größer als 2 % im Gebiet der Nordsee, ohne Strandbereiche, nach Ludwig /Lu 77/



Gemessene Ortsdosisleistungen durch terrestrische Strahlung im Bus auf Straßen - etwa 10 % Abschirmung durch den Bus () Meßwert außerhalb des Busses

Mittlere Ortsdosisleistung in Häusern am Strand von Kerala nach / Su 80 /

Abb. 34: Küste Keralas in Indien mit erhöhter natürlicher Strahlung durch Schwermineralanreicherungen

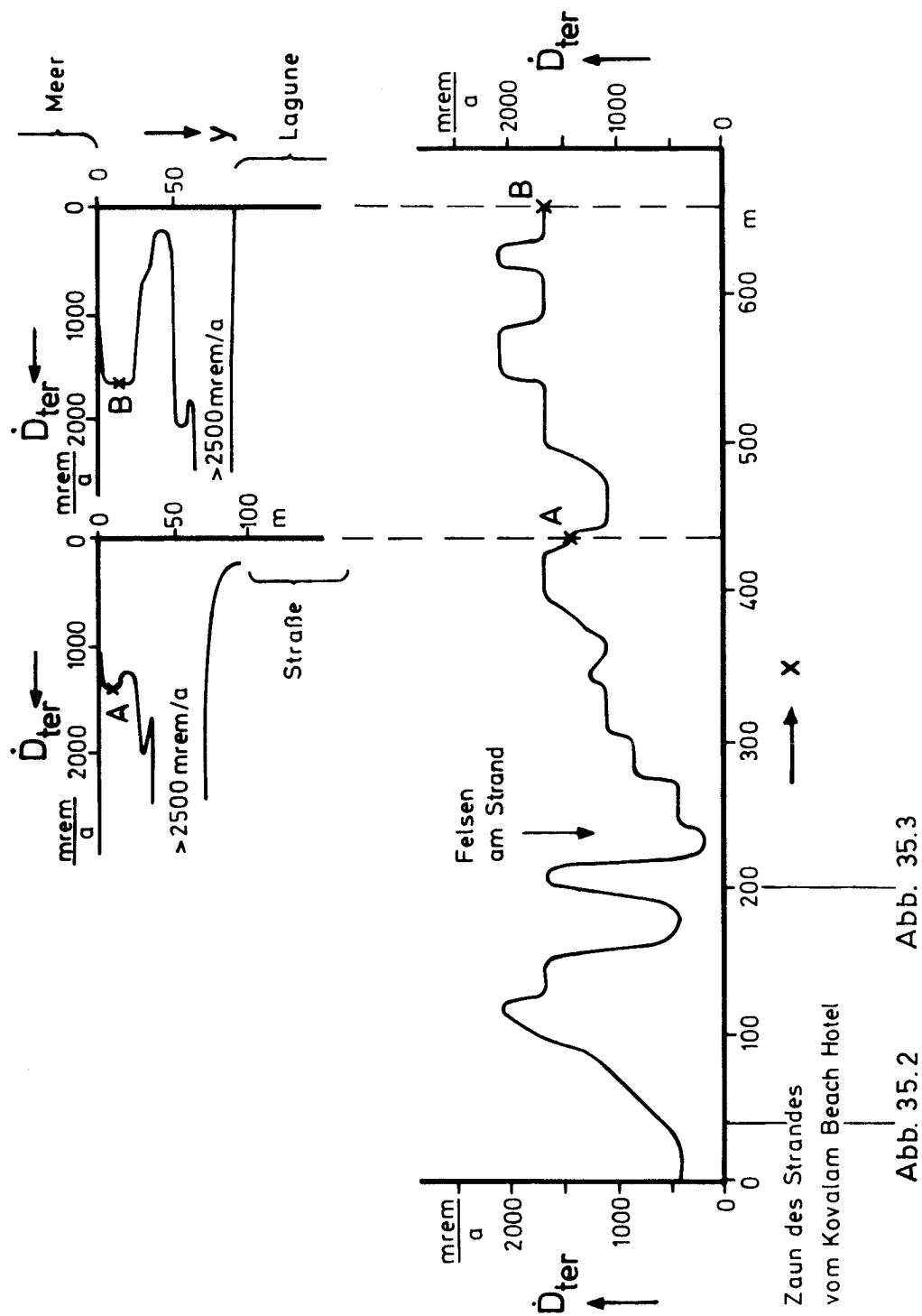


Abb. 35.1: Ortsdosisleistung durch terrestrische Strahlung am Strand von Kovalam Beach, Kerala, s. Abb. 34



Abb. 35.2: Strand von Kovalam Beach mit Schwermineralanreicherungen, s. Abb. 34, fotografiert etwa vom Zaun des Beach Hotels nach Norden



Abb. 35.2: wie Abb. 35.2, jedoch weiter nördlich



Abb. 35.4: wie Abb. 35.3, jedoch weiter nördlich



Abb. 35.5: wie Abb. 35.4, jedoch weiter nördlich

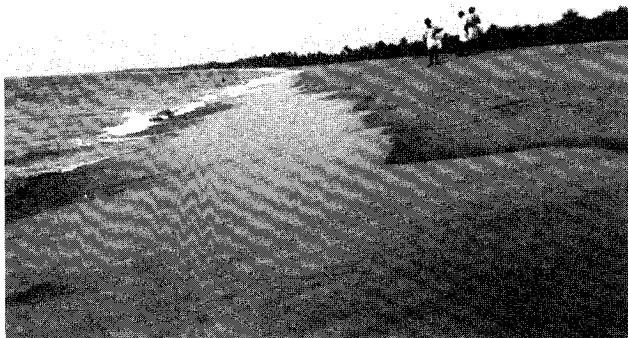


Abb. 35.6: Wasserbewegungen, die zu Schwermineralanreicherungen führen, etwas weiter nördlich von Abb. 35.5



Abb. 35.7: Sand mit Schwermineralanreicherungen am Strand von Kovalam Beach



Abb. 36.1: Sand mit Schwermineralanreicherungen bei Manavalakurichi, Tamil Nadu, s. Abb. 34, etwa 300 m vom Strand in östlicher Richtung, Sand wurde durch Wind verfrachtet. Am Strand hat die Indian Rare Earths Ltd. eine Fabrik zur Erzgewinnung



Abb. 36.2: wie Abb. 36.1, rechter Bildrand

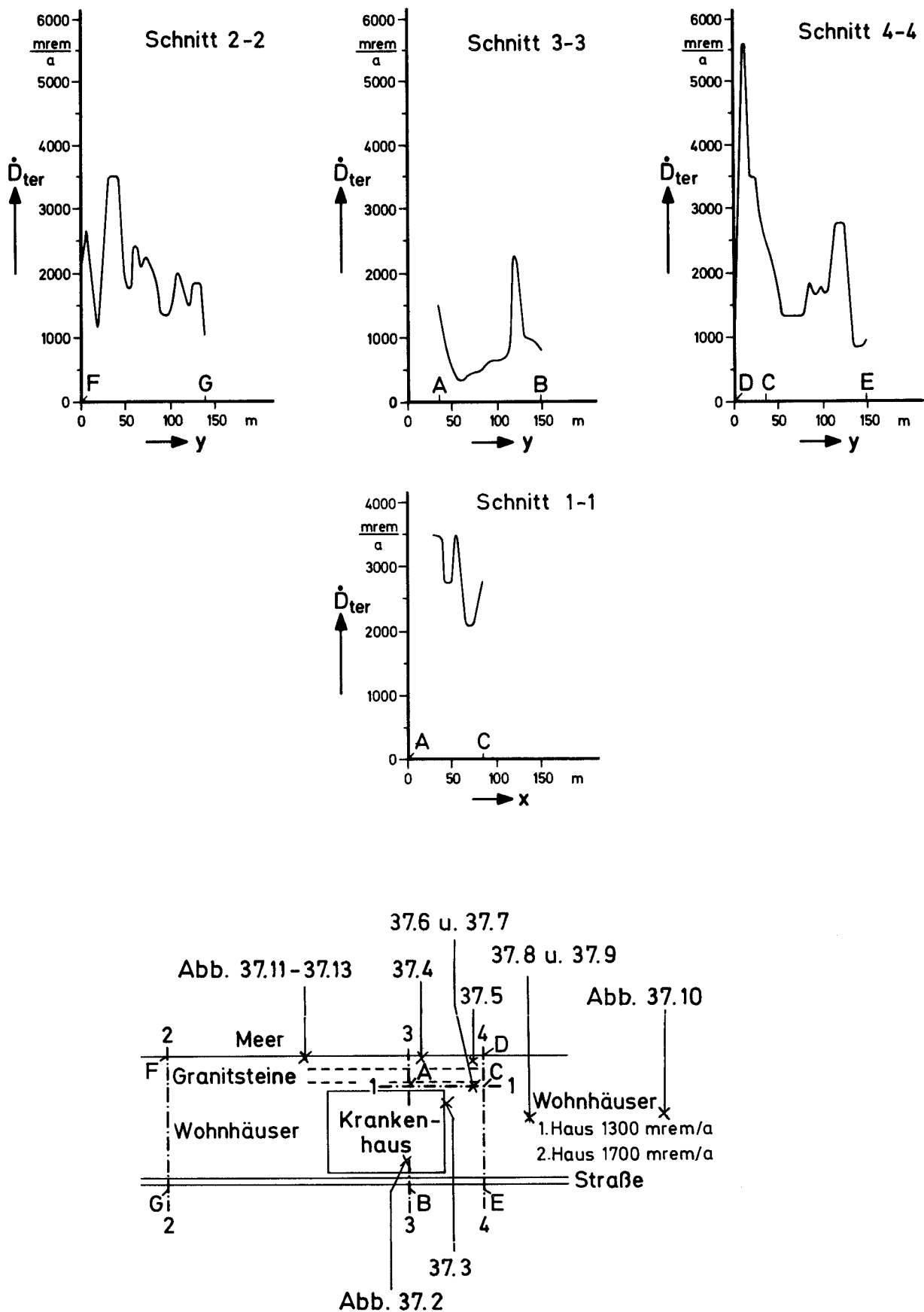


Abb. 37.1: Ortsdosisleistung durch terrestrische Strahlung am Strand von Neendakara in Kerala, s. Abb. 34

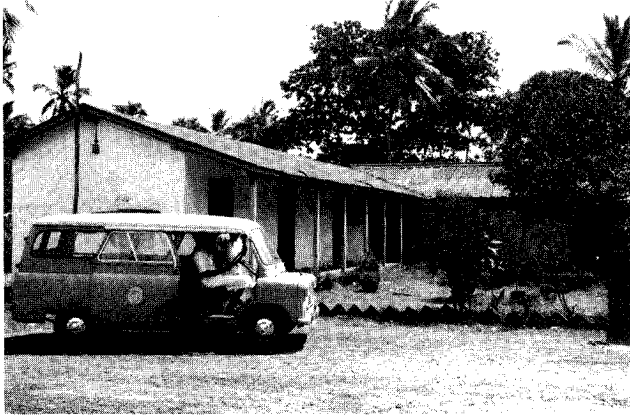


Abb. 37.2: Laborgebäude im Krankenhaus von Neendakara nördlich von Quilon, Kerala, s. Abb. 34

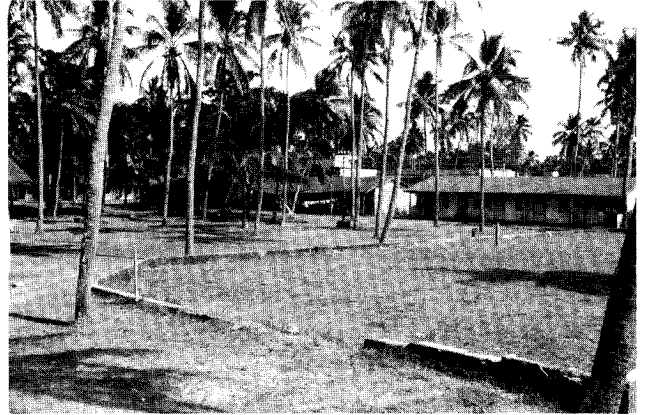


Abb. 37.3: Krankenhaus von Neendakara



Abb. 37.4: Strand von Neendakara beim Krankenhaus mit Schwermineralanreicherungen in nördlicher Richtung



Abb. 37.5: wie Abb. 37.4, jedoch etwas weiter nördlich



Abb. 37.6: In Höhe von Abb. 37.5 östlich von der Strandbefestigung mit Granitsteinen



Abb. 37.7: wie Abb. 37.6, rechter Bildrand



Abb. 37.8: Häuser am Ort von Abb. 37.7.
Hier Ortsdosisleistungsmessung,
siehe Abb. 37.1



Abb. 37.9: Häuser am Ort von Abb. 37.7



Abb. 37.10: wie Abb. 37.8, etwa 200 m
nördlich



Abb. 37.11: Strand von Neendakara süd-
lich vom Krankenhaus



Abb. 37.12: wie Abb. 37.11, jedoch weiter
südlich



Abb. 37.13: wie Abb. 37.12, jedoch weiter
südlich, westlich von Strandbe-
festigung durch Granitsteine

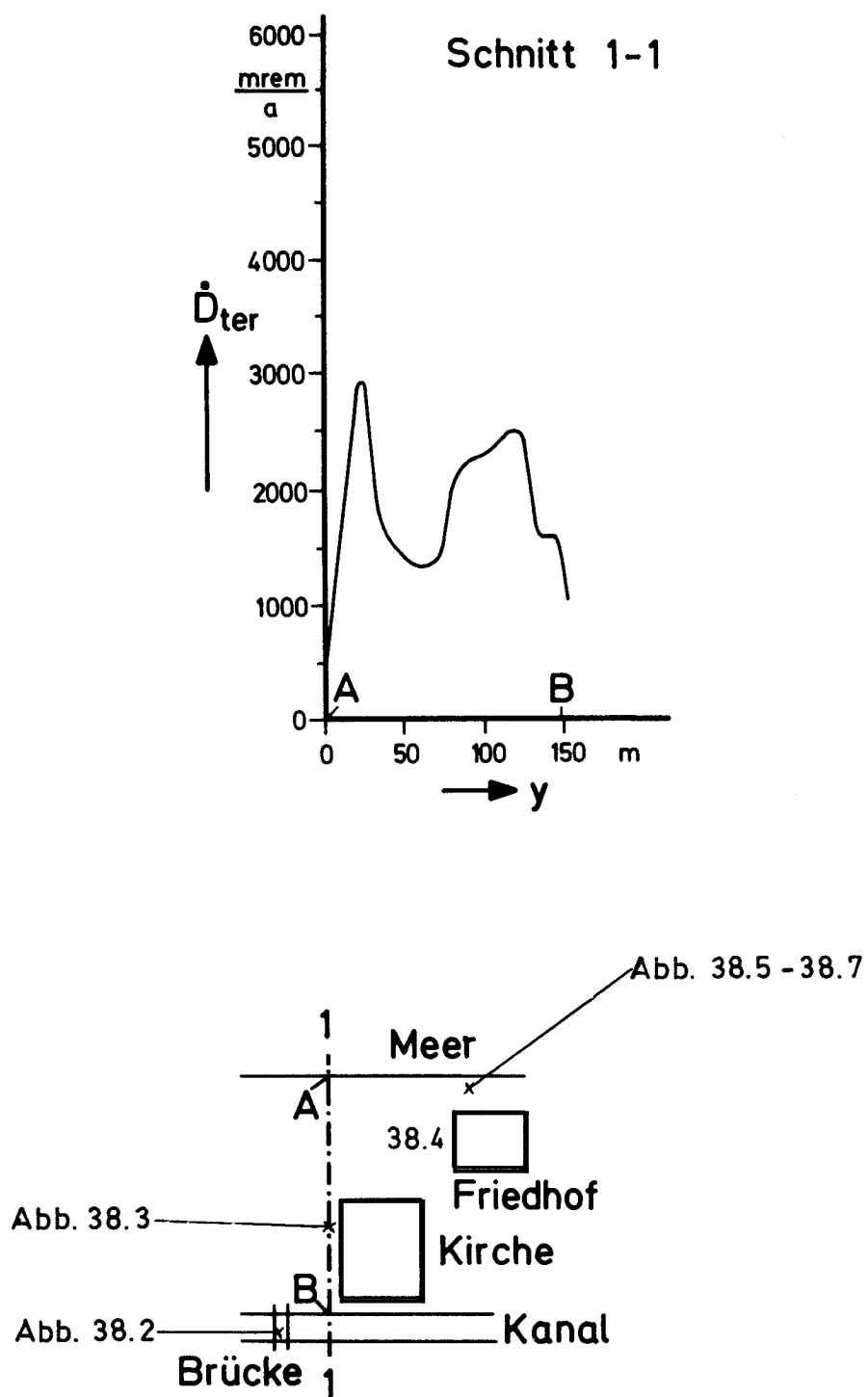


Abb. 38.1: Ortsdosisleistung durch terrestrische Strahlung am Strand von Kovilthottam, s. Abb. 34



Abb. 38.2: Kanal (Lagune) östlich vom Strand bei Kovilthottam, Kerala, s. Abb. 34 und 38.1



Abb. 38.3: Sand mit Schwermineralanreicherungen zwischen Schule und Kirche, s. Abb. 38.1



Abb. 38.4: Sand mit Schwermineralanreicherungen vor Friedhof, s. Abb. 38.1



Abb. 38.5: wie Abb. 38.4, jedoch etwas weiter nordwestlich



Abb. 38.6: Am Strand von Kovilthottam, s. Abb. 38.1



Abb. 38.7: Am Strand von Kovilthottam, s. Abb. 38.1



Abb. 39.1: Dunkler Sand, Ke 1 in Tab. 3 unter einem Elektronenmikroskop



Abb. 39.2: Siliziumverteilung in Abb. 39.1

0 1mm



Abb. 39.3: Eisenverteilung in Abb. 39.1

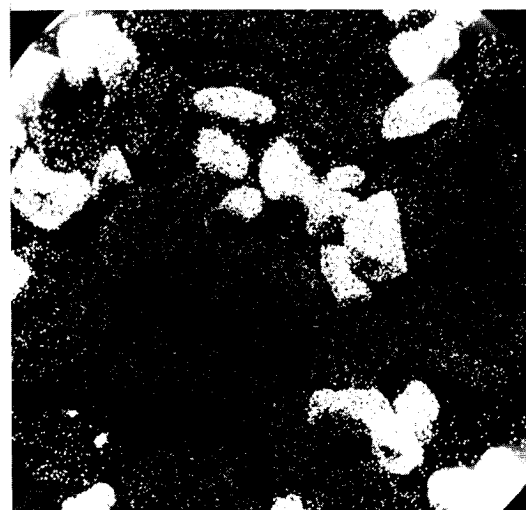


Abb. 39.4: Titanverteilung in Abb. 39.1

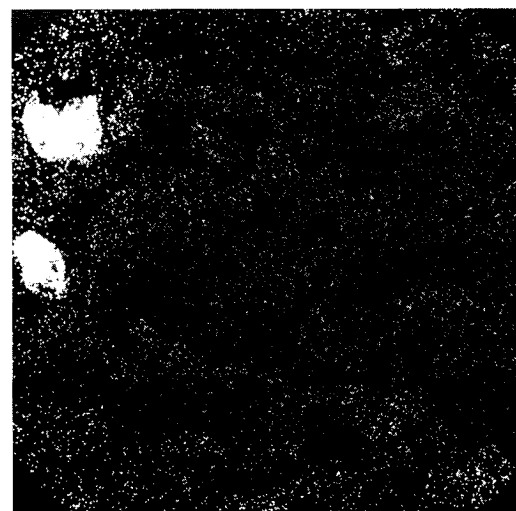


Abb. 39.5: Zirkoniumverteilung in Abb. 39.1

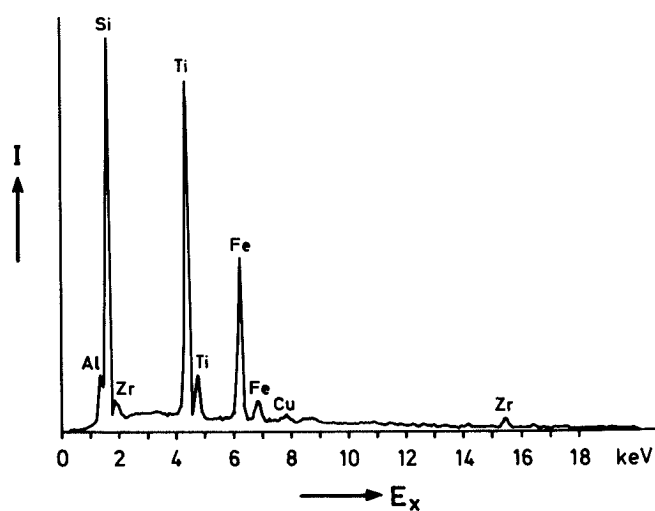


Abb. 39.6: Röntgenfluoreszenzanalyse des Sandes in Abb. 39.1

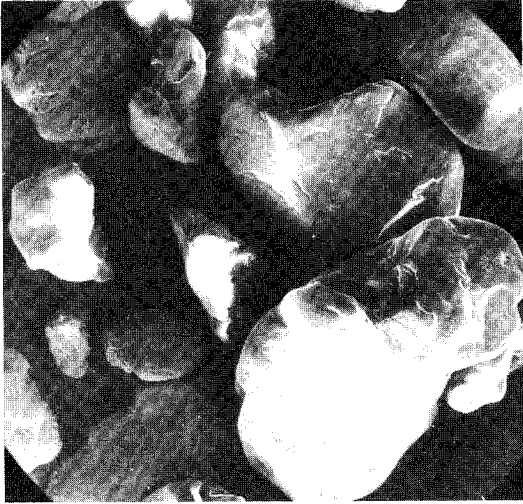


Abb. 40.1: Heller Sand Ke 2 in Tab. 3 unter einem Elektronenmikroskop



Abb. 40.2: Siliziumverteilung in Abb. 40.1

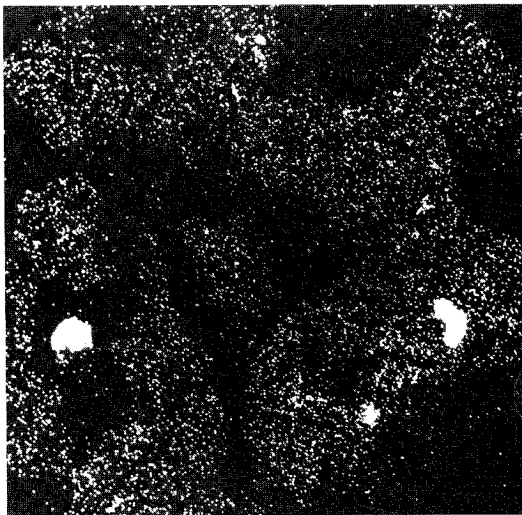


Abb. 40.3: Eisenverteilung in Abb. 40.1

0 1 mm

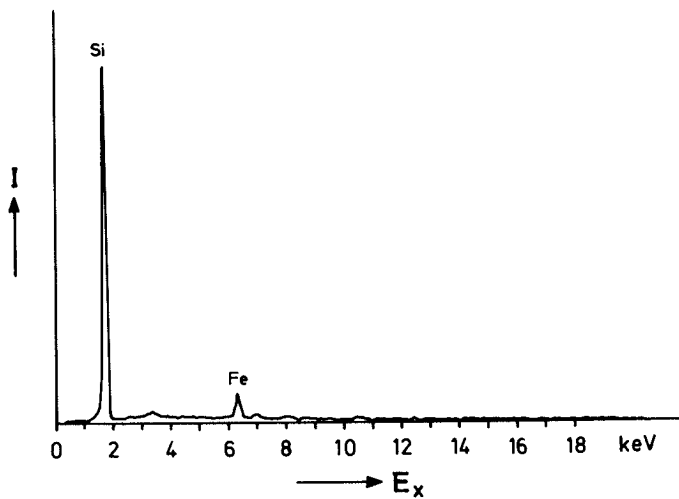


Abb. 40.4: Röntgenfluoreszenzanalyse des Sandes in Abb. 40.1

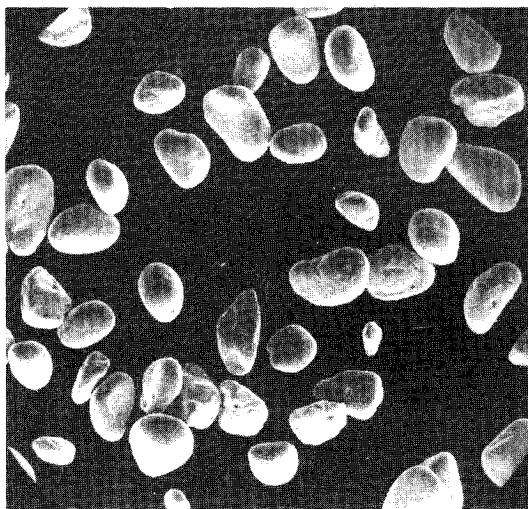


Abb. 41.1: Monazit-Körner Ke 8 in Tab. 3 unter einem Elektronenmikroskop

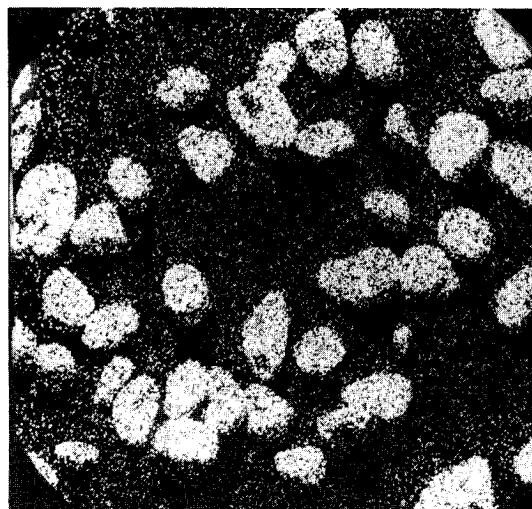


Abb. 41.2: Cerverteilung in Abb. 41.1

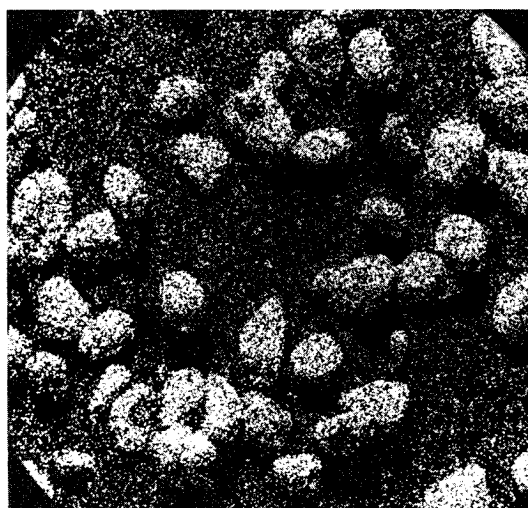


Abb. 41.3: Phosphorverteilung in Abb. 41.1

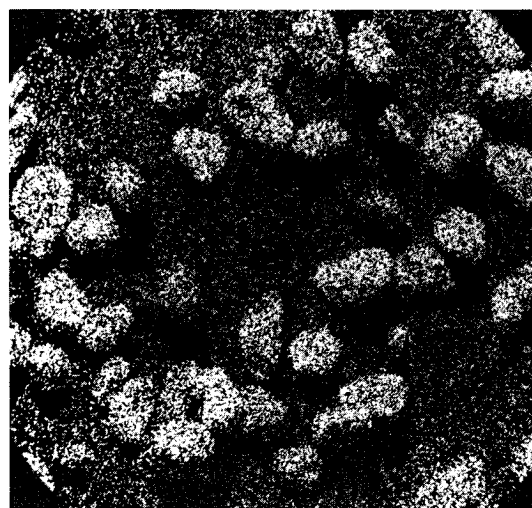


Abb. 41.4: Thoriumverteilung in Abb. 41.1

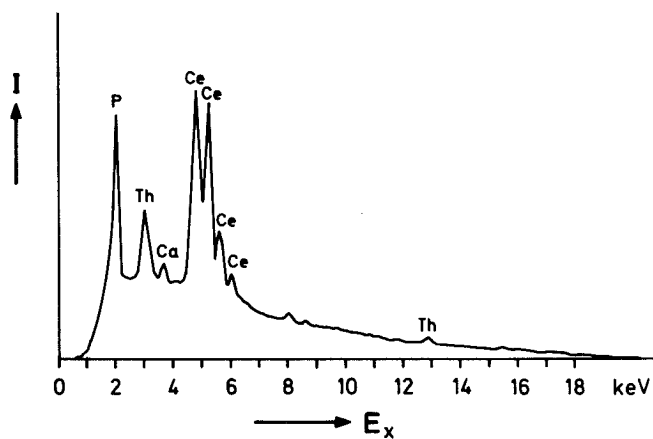
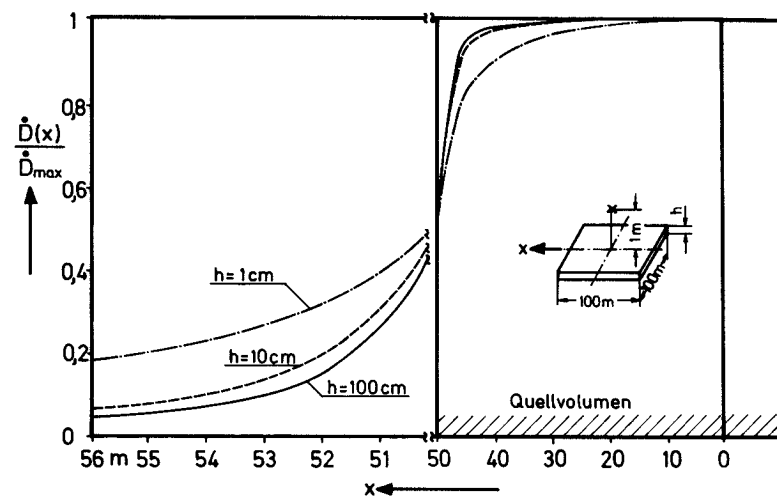
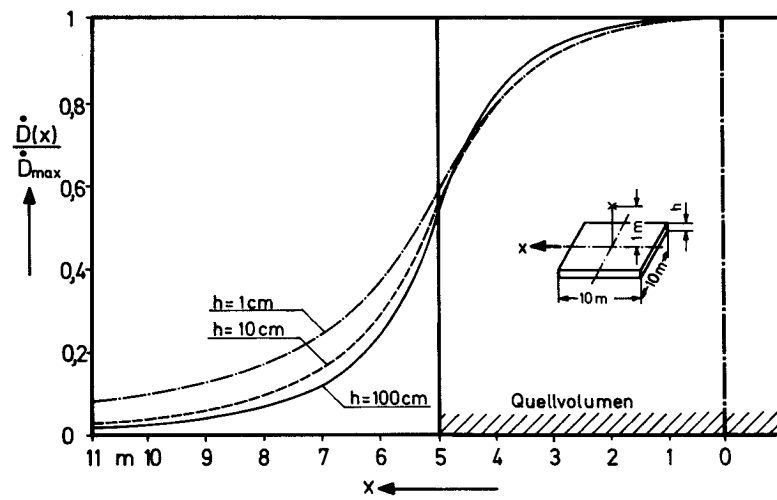
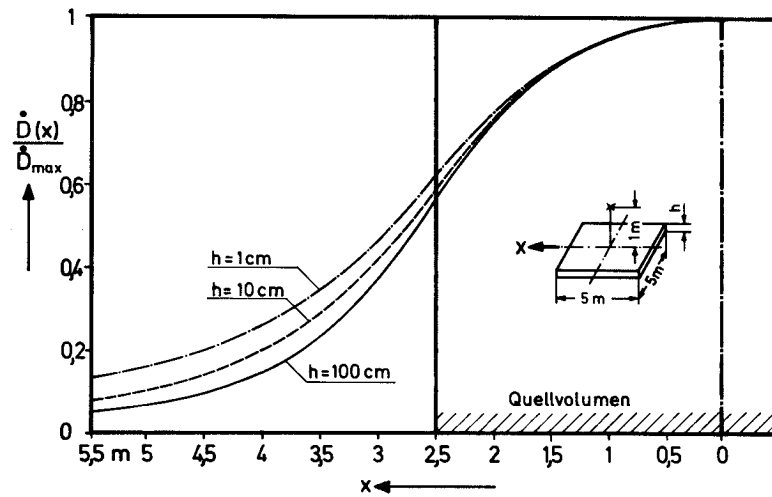


Abb. 41.5: Röntgenfluoreszenzanalyse der Monazit-Körner in Abb. 41.1

Anhang A:

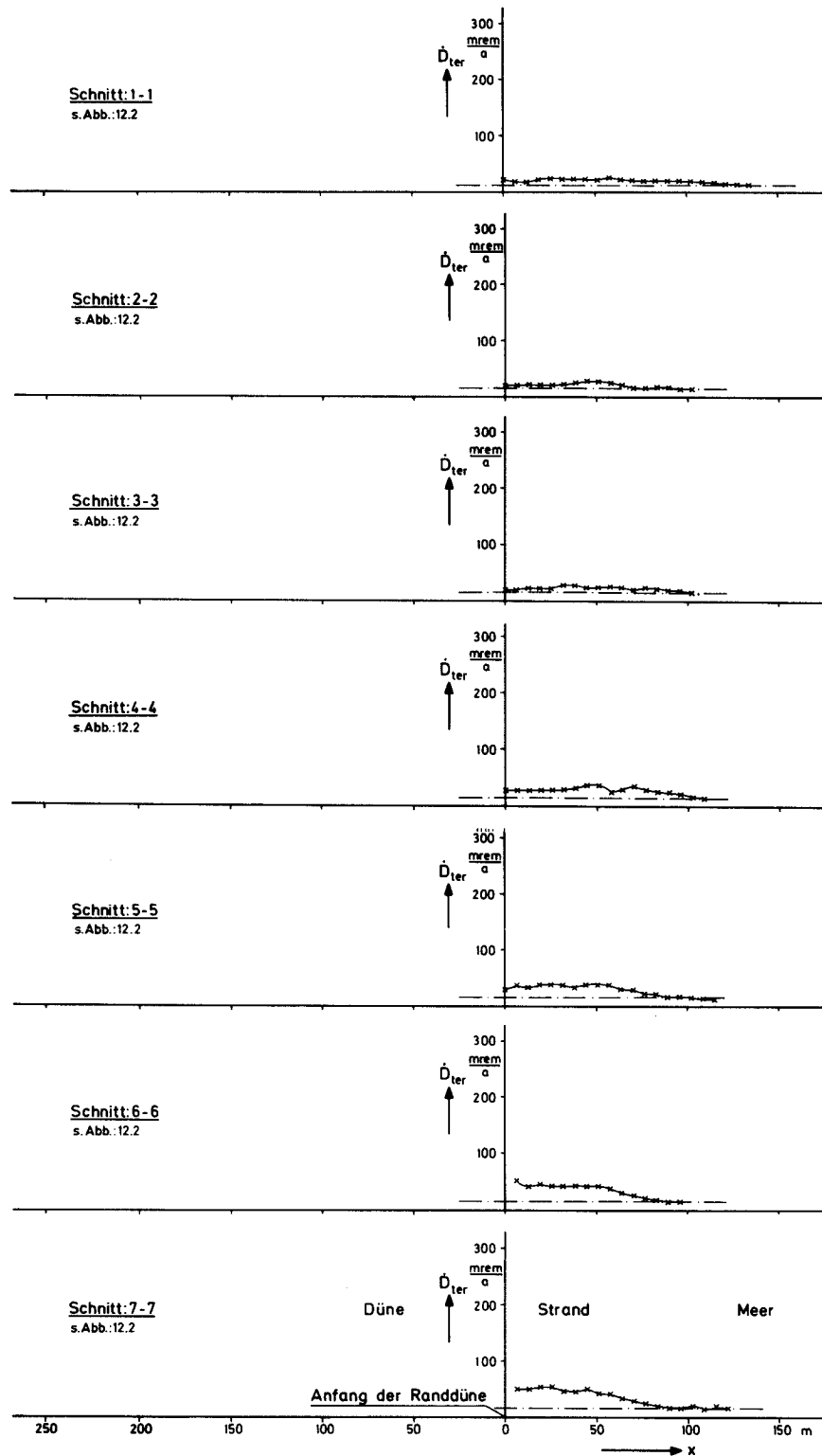
Berechneter Verlauf der Ortsdosisleistung durch eine homogene 0,5 MeV Gammaquelle bezogen auf den Maximalwert in der Umgebung eines Quellvolumens von 5m x 5m, 10m x 10m und 100m x 100m Ausdehnung und verschiedenen Schichtdicken.



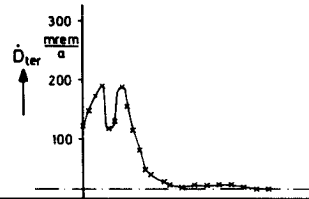
Anhang B:

Ortdosisleistungsverlauf durch terrestrische Strahlung in 1 m Höhe in einem Gebiet mit Schwermineralanreicherung auf der Insel Norderney im Jahre 1980.

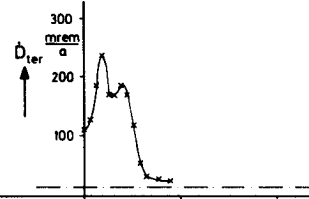
(Darstellung der Schnitte 1 - 1 bis 28 - 28 quer zum Strand, siehe Abb. 12.2)



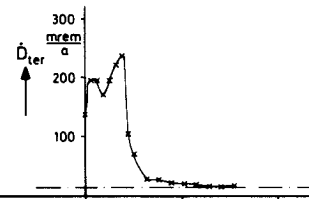
Schnitt: 15-15
s. Abb.: 12.2



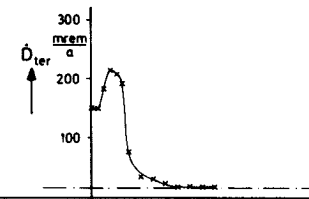
Schnitt: 16-16
s. Abb.: 12.2



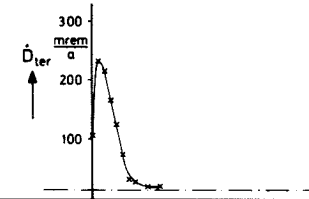
Schnitt: 17-17
s. Abb.: 12.2



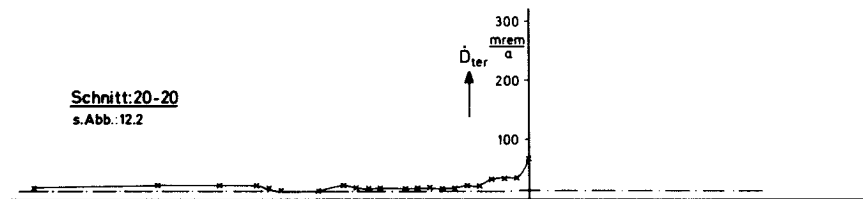
Schnitt: 18-18
s. Abb.: 12.2



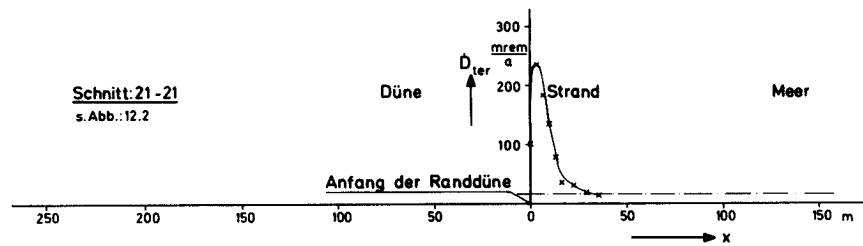
Schnitt: 19-19
s. Abb.: 12.2



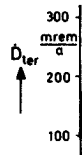
Schnitt: 20-20
s. Abb.: 12.2



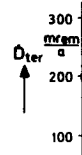
Schnitt: 21-21
s. Abb.: 12.2



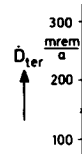
Schnitt: 22-22
s. Abb.: 12.2



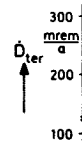
Schnitt: 23-23
s. Abb.: 12.2



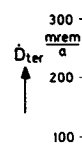
Schnitt: 24-24
s. Abb.: 12.2



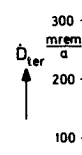
Schnitt: 25-25
s. Abb.: 12.2



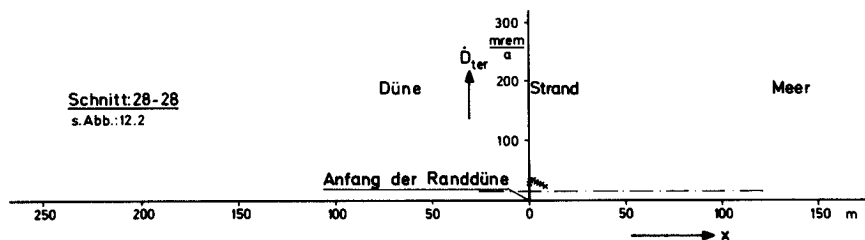
Schnitt: 26-26
s. Abb.: 12.2



Schnitt: 27-27
s. Abb.: 12.2



Schnitt: 28-28
s. Abb.: 12.2



Anhang C :

Dosisfaktor zur Berechnung der Ortsdosisleistung 1 m oberhalb einer unendlich ausgedehnten Bodenschicht, in der U 238 und die Zerfallsprodukte, Th 232 und die Zerfallsprodukte sowie K 40 homogen verteilt sind.

Der Dosisfaktor zur Berechnung der Ortsdosisleistung oberhalb einer unendlich ausgedehnten Bodenschicht mit konstanter Quelle lässt sich in ausreichender Genauigkeit mit Hilfe der Energie der Gammastrahlen berechnen. Bei konstanter spezifischer Aktivität ist die an der Bodenoberfläche pro g Boden absorbierte Gammaenergie halb so groß wie die pro g Boden emittierte Gammaenergie. Unter Berücksichtigung des größeren Massen-Energieabsorptionskoeffizienten im Gewebe $(\mu_a/\rho)_{\text{Gew}}$ als im Boden $(\mu_a/\rho)_{\text{Bod}}$ beträgt der Dosisfaktor

$$g_{\gamma}^{\infty} = \frac{1}{2} \cdot 1,6 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mrem} \cdot \text{g}}{\text{MeV}} \cdot \frac{3,7 \cdot 10^{-2}}{\text{pCi} \cdot \text{s}} \cdot 3,15 \cdot 10^7 \frac{\text{s}}{\text{a}} \cdot \frac{(\mu_a/\rho)_{\text{Gew}}}{(\mu_a/\rho)_{\text{Bo}}} \cdot \sum_{n=1}^N p_{\gamma,n} \cdot E_{\gamma,n} \quad (\text{C.1})$$

$p_{\gamma,n}$: pro Zerfall ausgesandte γ -Quanten des Übergangs n

$E_{\gamma,n}$: Energie des γ -Quants beim Übergang n

Das Verhältnis $(\mu_a/\rho)_{\text{Gew}}/(\mu_a/\rho)_{\text{Bod}}$ beträgt für den hier interessierenden Energiebereich der Gammaquanten, siehe Abb. C1 etwa 1,11. Damit ist

$$g_{\gamma}^{\infty} = 10,4 \frac{\text{mrem} \cdot \text{g}}{\text{pCi} \cdot \text{a} \cdot \text{MeV}} \cdot \sum_{n=1}^N p_{\gamma,n} \cdot E_{\gamma,n} \quad (\text{C.2})$$

Mit Hilfe der Zerfallsdaten für die einzelnen Radionuklide der U 238- Zerfallsreihe, Th 232-Zerfallsreihe und K 40 nach /Le 78/und /Er 79/ errechnen sich folgende Dosisfaktoren:

$$g_{\gamma, \text{U } 238}^{\infty} = 18,6 \text{ (mrem} \cdot \text{g)} / (\text{pCi} \cdot \text{a}) \quad (\text{C.3})$$

$$g_{\gamma, \text{Th } 232}^{\infty} = 25,2 \text{ (mrem} \cdot \text{g)} / (\text{pCi} \cdot \text{a}) \quad (\text{C.4})$$

$$g_{\gamma, \text{K } 40}^{\infty} = 1,6 \text{ (mrem} \cdot \text{g)} / (\text{pCi} \cdot \text{a}) \quad (\text{C.5})$$

Nach den Daten in /Cb 58/, /Gu 58/, /Un 77/ ergeben sich mit dem Umrechnungsfaktor 0,96 rem/R folgende Dosisfaktoren:

Zerfallsreihe bzw. Nuklid	$g_{\gamma}^{\infty} \left[\frac{(\text{mrem} \cdot \text{g})}{(\text{pCi} \cdot \text{a})} \right]$		
	O'Brien, K. u.a. /Ob 58/	Gustafson, P.F. /Gu 58/	UNSCEAR 1977 /Un 77/
U 238	18,4	18,9	13,8
Th 232	27,6	27,5	21,5
K 40	1,7	1,6	1,4

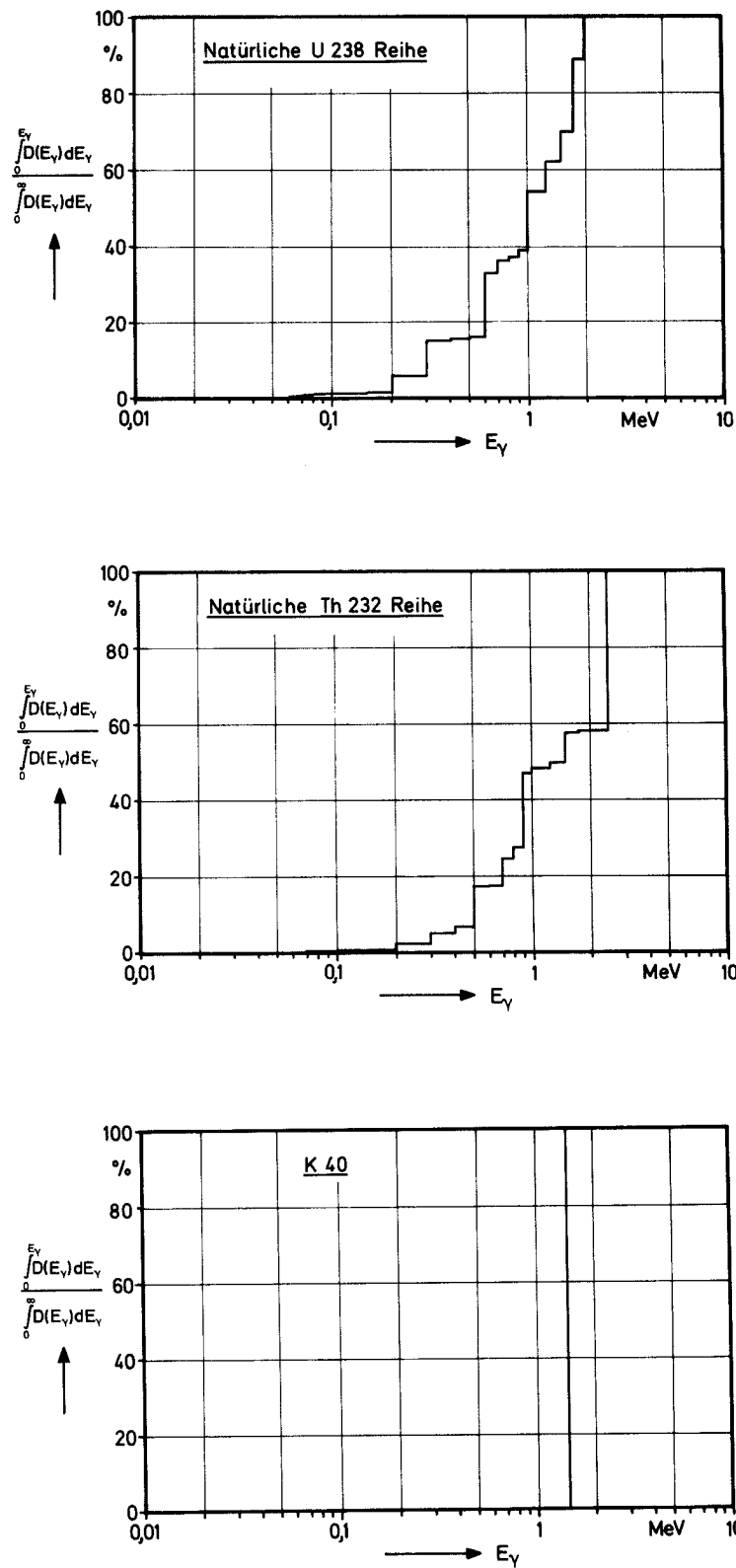


Abb. C1: Beitrag der verschiedenen von U 238 und den Zerfallsprodukten, Th 232 und den Zerfallsprodukten sowie K 40 ausgesandten Gammastrahlen zur Ortsdosisleistung bei einer dünnen Aktivitätsschicht

Anhang D:

Verhältnis der spezifischen Aktivität von U 238 zu Th 232 bei verschiedenen Gesteins-, Sand und einigen Bodenproben in Skandinavien, die auf der Fahrt, s. Abb. 3, genommen wurden.

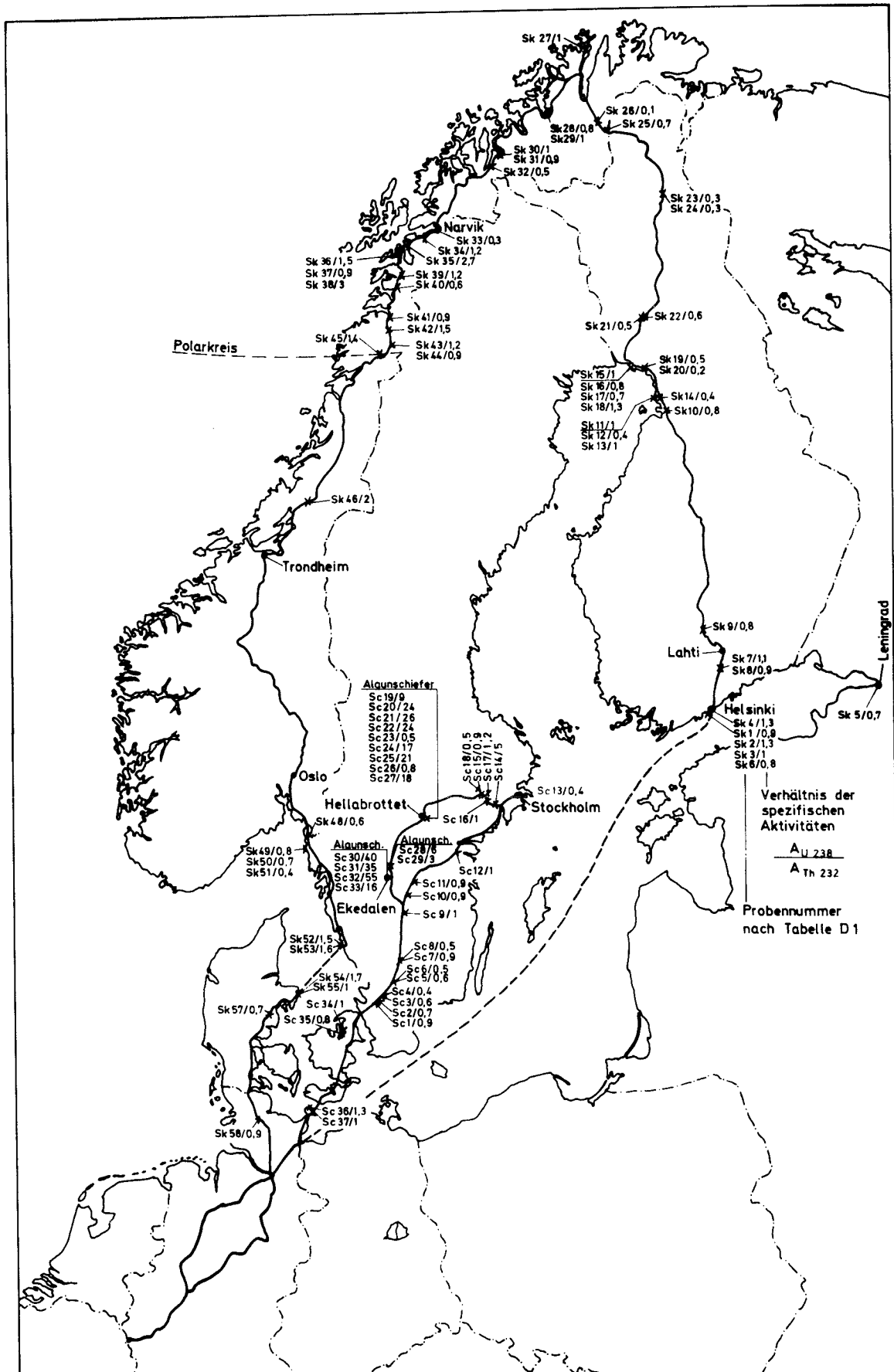


Abb. D1: Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von U 238 zu Th 232 von Gesteins-, Sand- und Bodenproben in Skandinavien, s. Tab. D1

Nr.	Probe	Datum der Probenahme	spezifische Aktivität [pCi/g]			$\dot{D}_{\infty}$ [mrem/a]	$\frac{A_{U-238}}{A_{Th-232}}$	Bemerkung
			U 238-Reihe	Th 232-Reihe	K 40			
Sk 1	Grober Sand vom Strand	6.7.79	0,45	0,5	16	47	0,9	von Sandhaufen auf Bahnhof in Leningrad
Sk 2	Sand aus Wasserbereich	6.7.79	0,4	0,3	13	36	1,3	
Sk 3	Gleichmäßig gekörnter Sand	6.7.79	0,5	0,5	20	54	1	
Sk 4	Granitstein	6.7.79	3,4	2,6	46	202	1,3	
Sk 5	Bausand	11.7.79	1	1,5	20	88	0,7	
Sk 6	Granitstein vom Strand	11.7.79	0,5	0,6	35	80	0,8	
Sk 7	Sand von Moräne	12.7.79	2	1,8	22	118	1,1	
Sk 8	Steine für Schotter von Moräne	12.7.79	1,9	2,2	21	124	0,9	
Sk 9	Sand	12.7.79	0,5	0,6	13	45	0,8	an Baumstamm angeweht
Sk 10	Sand	13.7.79	0,2	0,25	11	28	0,8	
Sk 11	Sand vom Strand	13.7.79	0,2	0,2	12	28	1	
Sk 12	Steine vom Strand	13.7.79	0,4	0,9	12	49	0,4	Verschiedene Arten
Sk 13	Sand, ausgebagert	13.7.79	0,25	0,25	12	30	1	
Sk 14	Steine von Baustelle	14.7.79	0,5	1,4	17	72	0,4	
Sk 15	Sand vom Strand	14.7.79	0,1	0,1	19	35	1	
Sk 16	Sand vom Strand	14.7.79	0,6	0,8	15	55	0,8	
Sk 17	Sand vom Strand	14.7.79	0,5	0,7	16	53	0,7	
Sk 18	Sand vom Strand	14.7.79	0,5	0,4	17	47	1,3	
Sk 19	Stein (Quarz)	14.7.79	0,05	0,1	0,2	4	0,5	heller Sand dunkler Sand, Anreicherung dunkler Sand, Anreicherung heller Sand unter Sk 17
Sk 20	Stein (Quarzit)	14.7.79	0,05	0,3	7	20	0,2	
Sk 21	Stein (Quarzit)	14.7.79	0,05	0,1	2,5	7	0,5	
Sk 22	Sand von Moräne	14.7.79	0,6	1	15	60	0,6	
Sk 23	Sand	15.7.79	0,2	0,8	12	43	0,3	
Sk 24	Steine	15.7.79	0,2	0,7	11	39	0,3	
Sk 25	Sand von Flußufer	16.7.79	0,2	0,3	16	37	0,7	
Sk 26	Sedimentgestein	16.7.79	0,15	1,2	-	33	0,1	vom Straßenrand vom Straßenrand
Sk 27	Sand von Pier	17.7.79	0,3	0,3	5	21	1	
Sk 28	Sand vom Strand	18.7.79	0,15	0,2	13	29	0,8	
Sk 29	Sand vom Strand	18.7.79	0,4	0,4	8	30	1	
Sk 30	Sand vom Strand	19.7.79	0,6	0,6	29	73	1	
Sk 31	Sand	19.7.79	0,8	0,9	24	76	0,9	
Sk 32	Schieferstein	19.7.79	0,25	0,5	4	24	0,5	
Sk 33	Eisenerz	20.7.79	0,5	2	1	61	0,3	Eisenerz von Halde
Sk 34	Granitstein	20.7.79	7	6	22	317	1,2	
Sk 35	Granitstein	20.7.79	0,8	0,3	24	61	2,7	
Sk 36	Sand vom Strand	20.7.79	1,2	0,8	20	74	1,5	
Sk 37	Sand	20.7.79	1	1,1	30	94	0,9	
Sk 38	Stein (Quarz)	20.7.79	0,3	0,1	28	53	3	
Sk 39	Granitstein	20.7.79	1,3	1,1	27	95	1,2	
Sk 40	Granitstein	20.7.79	0,6	1	18	65	0,6	Stein aus dunkler Ader
Sk 41	Sand	21.7.79	0,8	0,9	24	76	0,9	
Sk 42	Gneisstein	21.7.79	1,7	1,1	40	123	1,5	
Sk 43	Sand	21.7.79	1,8	1,5	26	113	1,2	
Sk 44	Gneisstein	21.7.79	1,4	1,5	31	113	0,9	
Sk 45	Gneisstein	21.7.79	4,9	3,6	35	238	1,4	
Sk 46	Schiefer	22.7.79	0,1	0,05	6	13	2	
Sk 47	Granitstein	24.7.79	0,6	0,6	18	55	1	in Umgebung Granit feiner Sand grober Sand vom Felsen abgeschlagen heller Sand dunkler Sand dunkler Sand
Sk 48	Sand	25.7.79	0,5	0,9	26	74	0,6	
Sk 49	Sand vom Strand	26.7.79	0,2	0,25	18	39	0,8	
Sk 50	Sand vom Strand	26.7.79	0,4	0,55	26	63	0,7	
Sk 51	Granitstein	26.7.79	1,9	4,5	23	186	0,4	
Sk 52	Sand vom Strand	26.7.79	0,15	0,1	20	37	1,5	
Sk 53	Sand vom Strand	26.7.79	0,9	0,55	11	48	1,6	
Sk 54	Sand vom Strand	27.7.79	1	0,6	5	42	1,7	

Tab. D1: Spezifische Aktivität und Aktivitätsverhältnis von verschiedenen Gesteins-, Sand- und Bodenproben aus Skandinavien. Orte siehe Abb. D1

Nr.	Probe	Datum der Proben- nahme	spezifische Aktivität [pCi/g]			$\dot{D}_{\infty}$ [mrem/a]	$\frac{A_{U-238}}{A_{Th-232}}$	Bemerkung
			U 238-Reihe	Th 232-Reihe	K 40			
Sk 55	Sand vom Strand	27.7.79	0,15	0,15	6	16	1	heller Sand
Sk 56	Feuerstein	27.7.79	0,2	0,05	1	7	4	
Sk 57	Sand	27.7.79	0,4	0,55	14	44	0,7	
Sk 58	Sand von Moräne	27.7.79	0,35	0,4	13	37	0,9	
Sc 1	Erdboden von Feld	19.10.80	0,7	0,8	19	64	0,9	oberste Schicht
Sc 2	Sand von Moräne	19.10.80	0,4	0,6	20	55	0,7	
Sc 3	Sand von Wiese	19.10.80	0,3	0,5	19	49	0,6	
Sc 4	Gneissteine vom Parkplatz	19.10.80	0,8	1,9	27	106	0,4	
Sc 5	Sand von Moräne	19.10.80	0,35	0,6	16	47	0,6	für Straßenbau
Sc 6	Gneisstein von Moräne	19.10.80	0,5	1	22	70	0,5	
Sc 7	Sand von Moräne	19.10.80	0,8	0,9	22	73	0,9	
Sc 8	Gneissteine von Moräne	19.10.80	0,7	1,3	23	83	0,5	
Sc 9	Erdboden von Wiese	19.10.80	0,45	0,45	14	42	1	oberste Schicht
Sc 10	Gneisstein	19.10.80	0,95	1,1	18	74	0,9	
Sc 11	Gneisstein	19.10.80	2,1	2,3	29	143	0,9	
Sc 12	Granitstein	19.10.80	1,5	1,5	23	103	1	
Sc 13	Granitstein	21.10.80	2,6	6,9	30	270	0,4	Schottersteine vom Parkplatz
Sc 14	Gneisstein	24.10.80	0,7	0,15	32	68	5	
Sc 15	Gneis	24.10.80	1,2	1,4	19	88	0,9	
Sc 16	Erdboden vom Feld	24.10.80	2,1	2,2	20	127	1	
Sc 17	Gneisstein	24.10.80	5,2	4,2	30	251	1,2	von Felsen
Sc 18	Granitstein	24.10.80	1,5	3,1	28	151	0,5	
Sc 19	Erdboden vom Feld	25.10.80	16	1,8	18	372	9	
Sc 20	Alaunschiefer	25.10.80	63	2,6	24	1280	24	
Sc 21	Alaunschiefer	25.10.80	52	2	25	1060	26	Halde
Sc 22	Alaunschiefer	25.10.80	55	2,3	25	1120	24	
Sc 23	Schiefer	25.10.80	2,6	4,9	45	244	0,5	
Sc 24	Schiefer	25.10.80	10	0,6	3	206	17	
Sc 25	Kristallines Ge- stein	25.10.80	29	1,4	-	575	21	bei ehemaligem Tagebau, leicht zer- fallend
Sc 26	Sedimentgestein	25.10.80	0,4	0,5	7	31	0,8	
Sc 27	Alaunschiefer	25.10.80	42	2,3	27	882	18	
Sc 28	Alaunschiefer	25.10.80	14	2,2	30	364	6	
Sc 29	Erdboden vom Feld	25.10.80	6	1,9	22	195	3	von gepflügtem Feld
Sc 30	Alaunschiefer	25.10.80	120	3	36	2370	40	
Sc 31	Alaunschiefer	25.10.80	140	4	33	2760	35	
Sc 32	Alaunschiefer	25.10.80	110	2	32	2150	55	
Sc 33	Alaunschiefer	25.10.80	16	1	17	350	16	von gepflügtem Feld
Sc 34	Erdboden vom Feld	26.10.80	0,4	0,4	12	37	1	
Sc 35	Erdboden vom Feld	26.10.80	0,6	0,8	13	52	0,8	
Sc 36	Grober Sand	26.10.80	0,25	0,2	8	22	1,3	
Sc 37	Feiner Sand	26.10.80	0,2	0,2	5	17	1	vom Strand

Tab. D1: Fortsetzung

LITERATUR

- /Au 74/ Aurand, K.; Gans, I.; Rühle, H.:
Vorkommen natürlicher Radionuklide im Wasser;
in "Die natürliche Strahlenexposition des Menschen".
Hg. K. Aurand u.a., Georg Thieme Verlag Stuttgart
(1974), S. 80-94
- /Ba 41/ Backhaus, H.:
Die Entwicklung der ostfriesischen Inseln in geschicht-
licher, geomorphologischer, hydrodynamischer und see-
bautechnischer Hinsicht;
Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, 18.Bd.,
(1941)
- /Ba 72/ Bauer, J. u. Tvrz, F.:
Der Kosmos - Mineralienführer;
Franckh'sche Verlagsbuchhandlung (1972)
- /Be 80/ Becker Steinhandel, Kalenborn;
Private Mitteilung (1980)
- /Bo 74/ Bonka, H.:
Die ortsabhängige mittlere natürliche Strahlenbelastung
der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland;
Atomkernenergie 23 (1974) S. 137-150
- /Bo 79/ Bonka, H.:
Erhöhte terrestrische Strahlung durch Schwermineralan-
reicherungen an der Küste der Inseln Norddeutschlands;
in "The radiological burden of man from natural radio-
activity in the countries of the European Communities";
Seminar Le Vesinet 1979, Luxembourg (1980) S. 55-78
- /Bo 80/ Bonka, H.:
Erhöhte natürliche Strahlenexposition durch Schwermin-
eralanreicherungen an der Küste Norddeutschlands;
Atomenergie/Kerntechnik 35 (1980) S. 5-11
- /Bo 82₁/ Bonka, H.:
Enhanced Natural Radiation Exposure due to Enriched
Heavy Minerals at the Coast of Northern Germany,
in "Natural Radiation Environment" Ed. K.G. Vohra
et al., Wiley Eastern Ltd., New Delhi (1982) S. 58-66
- /Bo 82₂/ Bonka, H.:
Strahlenexposition durch radioaktive Emissionen aus
kerntechnischen Anlagen im Normalbetrieb;
Verlag TÜV Rheinland (1982)
- /Bu 69/ Bundesanstalt für Wasserbau:
Untersuchung der Sandbewegung mit radioaktiven Isotopen
vor Borkum;
Sept./Okt. 1969 (unveröffentl. Bericht)

- /Bu 75/ Der Bundesminister des Innern:
Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung;
Jahresbericht 1975, S. 38-42
- /Bu 78₁/ Der Bundesminister des Innern:
Die Strahlenexposition von außen in der Bundesrepublik
Deutschland durch natürliche radioaktive Stoffe im
Freien und in Wohnungen unter Berücksichtigung des
Einflusses von Baustoffen;
Bonn (1978)
- /Bu 78₂/ Bundesanstalt für Wasserbau:
Untersuchung der Sandbewegung mit radioaktiven Isotopen
in der Westerams April/Juni 1978;
(unveröffentl. Bericht)
- /Cz 81/ Czempiel, E.-M.; Schmier, H.:
Die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposi-
tion in der Bundesrepublik Deutschland;
Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamts,
ISH 3 (1981)
- /De 80/ Deffeyes, K.S.; MacGregor, I.D.:
World Uranium Resources;
Scientific American 242 (1980) S. 50-60
bzw.
Die Uran-Vorräte der Erde;
Spektrum der Wissenschaft (1980) S. 31-40
- /En 38/ von Engelhardt, W.:
Die Unterscheidung wasser- und windsortierter Sande auf
Grund der Korngrößenverteilung ihrer leichten und
schweren Gemengteile;
Chemie der Erde, 12 (1938), S. 445-465
- /Er 79/ Erdtmann, G.; Soyka, W.:
The Gamma Rays of the Radionuclides;
Verlag Chemie, Weinheim (1979)
- /Fl 59/ Flinter, B.H.:
The Magnetic Separation of some Alluvial Minerals in
Malaya;
The American Mineralogist, 44 (1959) S. 738-751
- /Ga 43/ Gaudin, A.M.; Spedden, H.R.:
Magnetic Separation of Sulphide Minerals;
American Institute of Mining and Metallurgical Engi-
neers, Technical Publication No. 1549, New York (1943)

- /Ge 66/ Gey, M.; Lorch, S.:
Messung der terrestrischen Komponente der natürlichen γ -Umgebungsstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland;
Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover, Forschungsbericht K 66-42 (1966)
- /Ge 81/ George, K.P.:
Monazite Survey Project, BARC INMCH UNIT,
Neendakara, Quilon (1981)
(Private Mitteilung und Überlassung einer Monazit-Probe)
- /Go 72/ Gopal-Ayengar, A.R. et al:
Evaluation of the Long-Term Effects of High Background Radiation on Selected Population Groups on the Kerala Coast;
IAEA, Fourth International Conference Geneva, A/CONF. 49/P/535, (1972) Vol. 11, S. 31-51
- /Gr 37/ Gripp, K.:
Die Entstehung der Nordsee;
in "Werdendes Land am Meer", Hg. K. Gripp u.a.;
Verlag von E.S. Mittler & Sohn, Berlin (1937)
- /Gu 58/ Gustafson, P.F.:
Measurement of Soil Radioactivity and Calculation of the Dose Therefrom;
in ANL-5967 (1958), S. 156-163
- /Ha 79/ Hartmann, K.:
Entwicklung eines trocken-mechanischen Verfahrens zur Trennung einer Mischung zweier ungleichartiger Kornkollektive aus Abbrand- und Brutpartikeln für Hochtemperaturreaktoren;
Bericht der Kernforschungsanlage Jülich, Jül 1592 (1979)
- /Ko 74₁/ Kolb, W.:
Die Strahlenbelastung der Bevölkerung in Wohnhäusern - Zwischenbericht über ein BMI-Vorhaben;
in "Strahlenschutz und Umweltschutz", Jahrestagung (1974) des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V., Bd. II, S. 500-522
- /Ko 74₂/ Kolb, W.; Lauterbach, U.:
Das Szintillationsdosimeter PTB 7201 in verbesserter Ausführung;
in "Strahlenschutz und Umweltschutz", Jahrestagung (1974) des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V., Bd. II, S. 662-690

- /Ko 82/ Koopmans, H.; Hofstee, P.:
Meting van de radioactiviteit van enige gips- en zand-
monsters;
Kernfysisch Versneller Instituut, Rijksuniversiteit te
Groningen, Intern Rapport K.V.I. - 861 (1982) 16.11.
- /La 38/ Lamcke, K.:
Mineralogische und chemische Untersuchungen an Erzsei-
fen der deutschen Nord- und Ostseeküsten;
Geologische Rundschau, 29 (1938) S. 301-306
- /La 82/ Lalit, B.Y.; Shukla, V.K.:
Natural Radioactivity in Foodstuffs from High Natural
Radioactivity Areas of Southern India;
in "Natural Radiation Environment", Ed. K.G. Vohra
et al., Wiley Eastern Ltd., New Delhi (1982) S. 43-49
- /Le 78/ Lederer, C.M.; Shirley, V.S.:
Table of Isotopes;
John Wiley & Sons, New York (1978)
- /Lu 77/ Ludwig, G.:
Geologisch-Lagerstättenkundliche Untersuchung von
Schwermineralvorkommen im Bereich des Niedersächsischen
Küstenraumes und der Deutschen Bucht;
Abschlußbericht des Niedersächsischen Landesamtes für
Bodenforschung, Hannover (1977)
- /Mc 57/ McAndrew, J.:
Calibration of a Frantz Isodynamic Separator and its
Application to Mineral Separation;
Proceedings of the Australian Institut of Mining & Metal-
lurgy No. 181 (1957)
- /Me 78/ Mehl, J.:
Die natürliche und zivilisatorische Strahlenbelastung;
Kerntechnik 20 (1978) S. 221-228
- /Me 79/ Mehl, J.:
Die terrestrische und kosmische Strahlung in der Bun-
desrepublik Deutschland;
in "The Radiological Burden of Man from Natural Ra-
dioactivity in the Countries of the European Communi-
ties", Seminar Le Vesinet 1979, Luxembourg (1980)
S. 43-53
- /Ob 58/ O'Brien, K.; Lowder, W.M.; Solon, L.R.:
Beta and Gamma Dose Rates from Terrestrially Distri-
buted Sources;
Radiation Research, 9 (1958) S. 216-221

- /Pa 82/ Paul, A.C.; Pillai, P.M.B.; Velayudhan, T;
Pillai, K.C.:
Internal Exposure at High Background Areas;
in "Natural Radiation Environment", Ed. K.G. Vohra
et al., Wiley Eastern Ltd., New Delhi (1982) S. 50-57
- /Po 76/ Pough, F.H.:
A Field Guide to Rocks and Minerals;
Houghton Mifflin Company, Boston (1976)
- /Ra 55/ Ramdohr, P.:
Die Erzminerale und ihre Verwachsung;
Akademie-Verlag (1955)
- /Ri 37/ Richter, K.:
Die Eiszeit in Norddeutschland;
Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin (1937)
- /Ro 77/ Rohde, H.:
Sandbewegungsuntersuchungen mit radioaktiven Tracern im
hydraulischen Modell und in der Natur;
Die Küste, 31 (1977) S. 32-42
- /Sc 38/ Scheidhauer, W.:
Gravitative Auslesevorgänge bei der Sedimentierung von
Sanden, Korngrößen- und Schwermineraluntersuchungen im
Turon des Elbsandsteingebirges;
Chemie der Erde, 12 (1938), S. 466-507
- /Su 80/ Sunta, C.M.; David, M.; Subbaratnam, T.:
TLD Survey of Natural Radiation Environment Along the
South-West Coast of India;
in "Management of Environment", Ed. B. Patel;
Wiley Eastern Ltd., New Delhi (1980), S. 533-541
- /Su 82/ Sunta, C.M.; David, M.; Abani, M.C.; Basu, A.S.;
Nambi, K.S.V.:
Analysis of Dosimetry Data of High Natural Radioactivi-
ty Areas of SW Coast of India;
in "Natural Radiation Environment", Ed. K.G. Vohra
et al., Wiley Eastern Ltd., New Delhi (1982) S. 35-49
- /Un 77/ United Nations Scientific Committee on the Effects of
Atomic Radiation:
Sources and Effects of Ionizing Radiation;
United Nations (1977)
- /Wa 38/ Wasmund, E.:
Die Schwermineralallagerstätten der deutschen Küsten;
Geologische Rundschau, 29 (1938) S. 287-300

/Wo 74/ Woldstedt, P.; Duphorn, K.:
Norddeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeital-
ter;
K.F. Koehler Verlag, Stuttgart (1974)

