

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

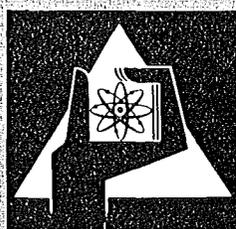
April 1974

KFK 1957

Projekt Actiniden

Ein integriertes Manganknollen-Explorationssystem

W. Stegmaier, K. Borcharding, L. Bösch, U. Fanger,
I. Lange, R. Pepelnik, A. Suppan, U. Tamm



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

PROJEKT ACTINIDEN

KFK 1957
PACT 50

EIN INTEGRIERTES MANGANKNOLLEN-EXPLORATIONSSYSTEM

W. Stegmaier, K. Borcharding,¹⁾ L. Bösch,²⁾ U. Fanger³⁾
I. Lange,²⁾ R. Pepelnik,³⁾ A. Suppan,²⁾ U. Tamm³⁾

Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe

-
- 1) Abteilung für Datenverarbeitung und Instrumentierung
 - 2) Abteilung Reaktorbetrieb und Technik
 - 3) Institut für angewandte Kernphysik

Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht wird ein System vorgestellt, mit dem sich für einen Abbau von Manganknollen wichtige Daten, wie Belegungsdichte, Knollengröße und -form, Wertmetallgehalte, Sedimentbeschaffenheit, Topographie, Wassertiefe, schnell und kostengünstig beschaffen lassen. Es ist vorzugsweise einsetzbar in der einem Abbau vorhergehenden Phase der Exploration, in der, bedingt durch ein enges Meßstellenraster, eine Vielzahl von Daten zu erfassen und auszuwerten sind.

Abstract

A compact System for Exploration and Analysis of Manganese Noduls

In this report a system is presented for quick and economical gathering of essential data of manganese nodules which is necessary before mining. Such data are population density, nodul size and form, content of worthy metals and additional information about depth of water, sediments and topographie. This system may be used with advantage if a lot of data must be registered and analysed as is necessary in exploration.

Inhalt	Seite
1. Einleitung	1
2. Marine Lagerstätten	2
3. Lagerstättenuntersuchung	2
4. Manganknollenexploration	3
5. Meßmethoden	4
6. Aufbau des Systems	8
6.1 Geräteträger	8
6.2 Kabel	10
6.3 Schiff	10
7. Arbeitsweise des Systems	10
7.1 Ermittlung der Explorationsdaten	10
7.2 Eigenüberwachung des Systems	13
8. Analysenkosten	15
9. Literatur	17
A. Tabellen	
B. Abbildungen	

1. Einleitung

Das Bereitstellen ausreichender Mengen Energie und die Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe sind bedeutende Faktoren für die Sicherung der Zukunft. Neben den sozialen und politischen Problemen sind diese beiden Erfordernisse von fundamentaler Bedeutung. Während auf dem Energiesektor mit Hilfe fortschrittlicher Technologien eine gewisse Unabhängigkeit einzelner Volkswirtschaften möglich erscheint, ist auf dem Gebiet der Rohstoffversorgung eine Abhängigkeit von der Lagerstätte unvermeidbar, was um so mehr zu Buche schlägt, wenn eine Volkswirtschaft über Lagerstätten einzelner oder mehrerer Rohstoffe nicht oder nicht in ausreichendem Maße verfügt.

Die Lage der BRD auf dem Gebiet der Rohstoffversorgung kann sich jederzeit verschärfen. Als viertgrößte Industrienation verfügt sie über keine Lagerstätten in nennenswertem Sinne (1) und auch die Europäische Gemeinschaft ist auf Einfuhren angewiesen (Tab. 1). Ein weiterer wesentlicher Faktor ist die Verknappung mineralischer Rohstoffe durch den steigenden Bedarf ^{*)} und die sich abzeichnende Erschöpfung bekannter Vorräte (Tab. 2).

Das Auffinden neuer Lagerstätten und die Sicherung des Zugriffes hat neben Arbeiten zum Recycling von Rohstoffen eine hohe Priorität. Für die langfristige Sicherung der Rohstoffversorgung gewinnen neben den terrestrischen Lagerstätten auch die verschiedenen marinen Vorräte (2) an Bedeutung. Aufgrund des steigenden Bedarfs werden nämlich immer weniger reichhaltige terrestrische Erzvorkommen mit immer höheren Kosten abgebaut, so daß marine Vorkommen in zunehmendem Maße wirtschaftlich interessant werden. Meeresbergbau, auch Tiefseebergbau ist nur eine Frage weniger Jahre.

Der Lage künftiger Rohstoffversorgung hat die BRD durch ihr Programm zur Sicherung der Versorgung (3) und mit dem Schwerpunkt "Marine Rohstoffe" im meerestechnischen Programm (4) Rechnung getragen. Beide Programme beinhalten sowohl Prospektion und Exploration wie auch die Entwicklung von Verfahren und Geräten.

*) Der Verbrauch an metallischen Rohstoffen verhält sich annähernd proportional zum Bruttosozialprodukt einer Volkswirtschaft. Dies bedeutet, daß sowohl Industrienationen wie Entwicklungsländer einen steigenden Bedarf an Metallen haben und haben werden. Bei den Entwicklungsländern wird als Folge eines Nachholbedarfes und damit eines überdurchschnittlich wachsenden Bruttosozialproduktes bei starker Industrialisierung der künftige Bedarf an Metallen besonders stark ins Gewicht fallen.

2. Marine Lagerstätten

Die Oberfläche der Erde ist zu 71% von Meer bedeckt, wovon 75% zur Tiefsee und 25% zur Flachsee zu rechnen sind. Diese Gegebenheit ist die Ursache, daß nur ein kleiner Teil der Erdoberfläche erforscht und als Rohstofflager genutzt ist. Erst der Fortschritt in der Technik schuf die Voraussetzungen, die metallischen Rohstoffe in den Meeren, auf und unter dem Meeresboden in die nähere Betrachtung zu ziehen und an eine Gewinnung zu denken.

Die derzeit abgeschätzten marinen Vorräte an Metallen sind außerordentlich groß. Im Meerwasser ist eine große Anzahl von Metallen in teils beträchtlichen Mengen ($10^6 \dots 10^{16}$ Tonnen) gelöst (2). Ihre Gewinnung stößt jedoch infolge der vorliegenden großen Verdünnung auf Schwierigkeiten und wird erst ins Auge gefaßt werden können, wenn eine entsprechende Versorgungslücke auf dem Rohstoffsektor dazu zwingt. Auch die Erforschung von Lagerstätten unter dem Tiefseeboden wird eine Aufgabe künftiger Generationen werden. Die Erforschung von Lagerstätten im Flachseebereich wird dagegen intensiv betrieben. Teilweise werden derartige Lagerstätten bereits abgebaut.

Eine sehr interessante Lagerstätte, deren Abbau im Bereich der derzeit technischen Möglichkeiten liegt, stellen die Manganknollen dar. Diese bedecken als unregelmäßig geformte Körper weite Gebiete des Tiefseebodens (Abb. 1 und 2) (5). Ihr "Durchmesser" beträgt durchschnittlich 4 cm (1 mm 10cm); in einigen Fällen sind auch blumenkohlartige Verwachsungen und Verkrustungen bekannt. Typische Belegungsdichten betragen zwischen 5 und 15 kg/m². Die Zusammensetzung ist sehr unterschiedlich (Tab. 3 und 4). Ihre Menge wird auf 10^{12} t geschätzt (2). Manganknollen interessieren vorwiegend wegen ihres Gehaltes an Nickel, Kupfer und Kobalt (6,7). Diese Vorräte (Tab. 5) würden, auch unter der Annahme, daß nur ein kleiner Teil dem Abbau zugänglich gemacht werden kann, die Versorgung der Welt für einige tausend Jahre sicherstellen.

3. Lagerstättenuntersuchung

Die Entscheidung zum Abbau einer Lagerstätte ist das Ergebnis mehrerer aufeinander folgender Untersuchungen.

- Ein erster Schritt wird mit der Prospektion getan. In dieser Phase

werden geologische, mineralogische, topographische, geochemische und geophysikalische Untersuchungen zur Beurteilung der Lagerstätte (des wahrscheinlichen Erzgehaltes, der Abbaumöglichkeit) durchgeführt. Ergänzend werden Proben gewonnen, um die verfahrenstechnischen Fragen des Aufschlusses und der Metallgewinnung zu klären.

- Die zweite Phase, die Exploration, dient der Sicherung der Kenntnisse bezüglich der Lagerstättenausdehnung, der endgültigen Erfassung des Erz- und Metallgehaltes und somit der abbauwürdigen Zonen. Sie ist gekennzeichnet durch eine große Anzahl von Probennahmepunkten bei entsprechendem Materialanfall. Im Falle der Manganknollen ist diese Probennahme - bedingt durch die große Wassertiefe bis 6000 m - sehr erschwert und zeitraubend (8), so daß in-situ-Methoden Vorteile bieten.
- Die Abbauentcheidung wird gefällt aufgrund einer wirtschaftlichen Gesamtrechnung, in der die Summe der Betriebskosten und Abschreibungen für Abbau, Transport, Anreicherung, Verhüttung u.a.m. dem Produkterlös gegenübergestellt werden.
- Wird eine Lagerstätte abgebaut, so ist je nach Typ, insbesondere bei Massenlagerstätten mit schwankendem Erzgehalt, eine dauernde Beobachtung des Wertmetallgehaltes notwendig, um den Abbau oder die Verwertung von Material mit zu geringen Erzkonzentrationen zu vermeiden, wie es im Falle der Manganknollen angezeigt sein kann.

4. Manganknollenexploration

Während in der Phase der Prospektion eine Vielfalt an Daten teils grundsätzlicher Natur in einem sehr großen Untersuchungsgebiet (bis 10^6 km^2) zu ermitteln sind (9), konzentrieren sich die Arbeiten in der Explorationsphase darauf, im ausgewählten Gebiet einer möglichen Lagerstätte die für den Abbau relevanten Informationen zu beschaffen.

Die den Abbau bestimmenden Parameter sind:

- Belegungsdichte
Häufige, oft beträchtliche Schwankungen in der Belegungsdichte (10) machen eine möglichst lückenlose Erfassung wünschenswert.
- Metallgehalte
Der unterschiedliche Metallgehalt der Knollen in gleichen Feldern (10) erlaubt es nicht, bei Abbauüberlegungen nur von der Belegungsdichte

auszugehen. Es ist vielmehr notwendig, den Metallgehalt der Knollen und dessen Änderung und damit den Gehalt der Felder mit genügender Genauigkeit zu bestimmen. Hierfür muß eine große Anzahl von Analysen durchgeführt werden. Abstände der Analysenpunkte zwischen 0,5 bis einige Kilometer scheinen nach dem derzeitigen Stand der Arbeiten hierfür notwendig (10).

- Bodenbeschaffenheit

Die Art des Bodens (Ton, Sand usw.) und dessen Beschaffenheit (verfestigt, Lockersedimente, Suspensionsschichten) sind für den Abbau der Knollen wichtige Faktoren. Da sich die Bodenbeschaffenheit innerhalb der Felder ändern kann, ist dessen Untersuchung unabdinglich.

- Topographie

Der Abbau der Knollen ist stark an die Topographie der Vorkommen gebunden. Klüfte, Abbrüche, Erhöhungen können den Abbau sehr stören bzw. unmöglich machen und darüberhinaus große Schäden an den Abbauvorrichtungen verursachen.

- Wassertiefe

Die Kenntnis der Wassertiefe ist für den Knollenabbau fundamental, da die Abbauvorrichtungen von ihr wesentlich beeinflusst werden.

5. Meßmethoden

Für die Bestimmung der verschiedenen, einen Manganknollenabbau bestimmenden Parameter sind jeweils spezifische Methoden anzuwenden.

5.1 Belegungsdichte

Die Belegungsdichte läßt sich mittels photographischer Bodenaufnahmen, Tiefsee-Fernsehen und Side-Scan-Sonar ermitteln. Während bei photographischen Aufnahmen die Information verzögert vorliegt und somit eine Rückkoppelung nicht möglich ist, können mit dem Tiefsee-Fernsehen quasi-kontinuierlich direkt interpretierbare Ergebnisse erzielt werden. Durch die Verwendung eines Bildanalysators besteht die Möglichkeit, das Monitorbild on-line auszuwerten. Mittels eines geeigneten Computerprogrammes kann daraus die Belegungsdichte in kg/m^2 oder dm^3/m^2 , die

statistisch wahrscheinlichste Knollengröße oder eine Knollengrößenverteilung und die Knollenform ermittelt werden. Da die Dichte der Knollen nicht gemessen wird und der Bildanalysator nur Flächenintegrationen durchführt, ist eine Angabe der Belegungsdichte in dm^3/m^2 gegenüber einer Angabe in kg/m^2 mit einem kleineren Fehler behaftet. Der Nachteil des Verfahrens - die Erfassung eines nur schmalen Geländestreifens von ca. 1 m Breite - kann mit Hilfe von Side-Scan-Sonargeräten kompensiert werden. Damit ist es möglich, Manganknollen auf Geländestreifen bis über 100m Breite zu erkennen. Das TV-Bild würde dabei das weniger eindeutige Sonarprogramm interpretieren helfen. Über den angeschlossenen Kleincomputer können damit Belegungsdichte, Knollengröße und Knollenform rationell ermittelt werden.

5.2 Metallgehalte

Zur Bestimmung der Metallgehalte in den Knollen stehen eine Vielzahl von Analysemethoden zur Verfügung. Fast alle sind an das Labor gebunden, d.h. es müssen mittels Dredgen oder Greifer Manganknollen aufgesammelt und transportiert werden. Als Folge der großen Ausdehnung der Lagerstätten ist eine Vielzahl von Probennahmen notwendig, die wegen der großen Tiefe (6000m) sehr aufwendig sind. Mit in-situ-Analysen kann dieser Nachteil umgangen werden. Wie eine überschlägige Betrachtung ergab, kommen dafür nur gamma-spektroskopische Verfahren in Frage, da wegen der besonderen Bedingungen einer Analyse im Wasser bei Drücken von einigen hundert bar, mit entsprechenden Druckkapselungen der Apparaturen, für induzierende und induzierte Strahlung eine hohe Transparenz gewährleistet sein muß. Ein Vergleich der Transmission von Gammastrahlung in 10 cm Wasser für 20 keV, 1 MeV und 10 MeV mit den Werten 10^{-4} , 0,5 und 0,8 in gleicher Reihenfolge zeigt, daß die Röntgenfluoreszenzanalyse (die charakteristisch im Bereich bis 100 keV arbeitet) auszuschließen ist. Von den beiden aufgrund der guten Transparenz zunächst aussichtsreich erscheinenden Verfahren, der Aktivierungsanalyse (NAA) und der Einfang-Gammaspektroskopie (NEG) mit thermischen Neutronen, mußte nach eingehender Prüfung im Labor auch die NAA ausgeschlossen werden, da die Einfanganteile derjenigen Isotope der in erster Linie interessierenden Elemente Ni, Co, Cu, die zu nachweisbaren Radioisotopen führen, und die Gammaintensitäten im Verhältnis zur induzierten Manganaktivität klein sind. Demgegenüber haben die durchgeführten NEG-Versuche zu erfolgversprechenden Resultaten geführt (11).

Die Auswertung der Linienintensitäten in den gemessenen Spektren lassen eine ausreichende Genauigkeit bei relativ kurzen Meßzeiten erwarten. Der Zusammenhang zwischen dem Fehler $\delta C/C$ in einer Konzentrationsangabe C und der benötigten Meßzeit t in Minuten ist für die Elemente Mn, Fe, Ni, Co und Cu in Abb. 3 gegeben.

Bei der NEG-Methode werden zur Anregung der für die Elemente charakteristischen prompten Gammastrahlung Neutronen aus einer kompakten Californium-Quelle verwendet. Das Isotop Cf-252, das in der Quelle zu etwa 1 mg enthalten ist, erzeugt durch spontane Spaltung Neutronen mit einer kontinuierlichen Energieverteilung, die bei etwa 1 MeV ein Maximum hat. Bei einer Meßgeometrie, in der diese Quelle ganz von Manganknollen und Wasser umgeben ist, werden diese Neutronen zunächst durch das Wasser thermalisiert, d.h. ihre mittlere Energie auf einen Wert um 0,025 eV transformiert, und dann überwiegend in den Manganknollen eingefangen. Der Thermalisierungsprozeß ist deshalb von Wichtigkeit, weil bei kleinen Neutronenenergien der für die Analytik wesentliche Einfangprozeß am effektivsten wird. Die aus dem Einfang resultierende Gammastrahlung wird durch ein elektronisches Meßsystem mit einem Ge(Li)-Detektor nachgewiesen (wobei für die Analytik vor allem der Energiebereich zwischen 4 und 11 MeV von Bedeutung ist), das die diskreten Gammalinien mit hoher Energieauflösung und optimalem Signal-zu-Untergrund-Verhältnis in ein Impulshöhenspektrum abbildet (Abb. 4). Die Intensität, mit der eine für ein bestimmtes Element charakteristische Gammalinie im Spektrum erscheint, ist der Konzentration des betreffenden Elements proportional. Dieser Zusammenhang ist allerdings bei Messung von verschiedenen Proben nur dann so einfach, wenn auch die Randbedingungen von einer Messung zur anderen sich nicht ändern, d.h., wenn die Probenmenge im geometrisch vorgegebenen Meßvolumen und die Moderationsverhältnisse für die Neutronen und damit ihre radiale Intensitätsverteilung konstant bleiben. Aus diesem Grund müssen diese Größen ebenfalls mitbestimmt werden. Sie erlauben eine quantitative Korrektur in dem ermittelten Intensitäts-Konzentrations-Zusammenhang. So ist es notwendig, die Menge der an der Messung beteiligten Manganknollen (12) und den Neutronenfluß im Analysengefäß zu messen (13).

Die Verarbeitung der gewonnenen Meßrohdaten erfolgt im Kleincomputer an Bord des Schiffes. Bei der Berechnung der interessierenden Wert-

metallkonzentration wird auf abgespeicherte Hilfsgrößen zurückgegriffen, die ihrerseits Ergebnisse umfangreicher Neutronen- und Gammatransportrechnungen an einem Computer sind. Auf diese Weise werden die Rechenzeiten klein gegenüber den Meßzeiten gehalten.

Die Gesamtanalysenzeit liegt demnach (s. auch Abb. 3) bei einigen Minuten. Wegen der endlichen Dauer des Meßvorganges an sich, aber auch wegen der Notwendigkeit einer festen Bestrahlungs- und Meßgeometrie, die das Aufsammeln und Deponieren von Knollen in einem geeigneten Behälter erfordert, scheidet ein wirklich kontinuierliches Analysierverfahren aus. Im Vergleich zur bisher bekannten Methode arbeitet das hier beschriebene γ -spektroskopische Verfahren allerdings quasi-kontinuierlich.

5.3 Bodenbeschaffenheit

Zur Feststellung von Inhomogenitäten oder Schichtungen des Meeresbodens kann ein spezielles Echolot mit automatischer Verstärkungsregelung und Kontrasterhöhung eingesetzt werden. Weicher Meeresboden ergibt durch schwächere Dämpfung größerer Eindringtiefe (ca. 30m) und damit Echos tiefer liegender Schichten. Fels oder Sande führen zu stärkeren Reflexionen (ausgeprägte Mehrfachechos). Die gleichzeitige Registrierung von Objekten im Wasser ist möglich. Der Verlauf von Schichten erlaubt eine zusätzliche Voraussage von Hindernissen (Untiefen).

Durch Verwendung zweier Frequenzen lassen sich aufgrund der Frequenzabhängigkeit oder Dämpfung von Schallwellen auch genauere Aussagen über die Bodenfestigkeit erhalten.

5.4 Topographie

Die für einfache topographische Messungen handelsüblichen Echolotsysteme liefern für den Manganknollen-Abbau zu ungenaue Ergebnisse, da infolge der geringen Schallbündelung, verbunden mit den beachtlichen Wassertiefen, ein Gebiet von mehreren km^2 mit einer Messung erfaßt wird. Klüfte oder aufragende Hindernisse können daher häufig nicht erkannt werden. Wesentlich bessere Ergebnisse liefert ein Schelfrandlot,

das gegebenenfalls ergänzt mit Side-Scan-Sonargeräten eine brauchbare Kartierung der Lagerstätte ermöglicht.

5.5 Wassertiefe

Das Erfassen der Wassertiefe ist problemlos. Beim Aufnehmen des Bodenreliefs fallen diese Werte mit an. Darüberhinaus können über Druckmessungen am Geräteträger genaue Tiefenangaben gemacht werden.

6. Aufbau und Arbeitsweise des Systems

In der Phase der Exploration - der Erfassung der direkt für den Abbau notwendigen Daten - , die sich im Falle der Manganknollen im Sinne einer Abbauleitung in die Abbauphase hineinziehen kann, müssen die in Kap. 4 genannten Parameter möglichst lückenlos bestimmt werden. Statistische Methoden, wie sie in der Phase der Prospektion mit Vorteil anwendbar sind (6), eignen sich hierfür wenig. Hier liegt die Einsatzmöglichkeit tieftauchender Geräteträger (14), verbunden mit on-line Datenverarbeitung.

Das integrierte Manganknollen-Explorationssystem (Abb. 5), bestehend aus tieftauchenden Geräteträger, Kabel, Datenverarbeitung, Navigationsanlage und Schiff, erlaubt mit den in Kap. 5 erläuterten Methoden das Erfassen, Auswerten und die sofortige Ausgabe von

Belegungsdichte
Knollengröße und -form
Metallgehalte
Bodenrelief
Bodenbeschaffenheit
Wassertiefe

und die Zuordnung dieser Informationen zur Position.

6.1 Geräteträger

Die unterschiedliche, teilweise auf kurze Entfernung wechselnde Beschaffenheit und damit Belastbarkeit der Tiefseeböden (15) sowie die

Form der Oberfläche und evtl. Störungen machen die Verwendung eines bodengebundenen Geräteträgers unmöglich. Das Risiko eines Geräteverlustes wäre hoch und die Fahrgeschwindigkeit müßte relativ gering sein (~ 2 kn). Ein gefesselter Schwebekörper (Abb. 6) mit Ortungssystemen und Manövrierhilfen hat für das Befahren der nach Prospektionsergebnissen ausgewählten, doch im Detail unbekanntem Gebieten viele Vorteile. Weiter kann mit ihm durch die Wahl der Schleppegeschwindigkeit in weiten Grenzen (1 ... 8 kn) und das Einstellen der Analysengenauigkeit über die Meßzeit (vergl. Abb. 3) der Meßpunktstand dem Explorationsmodell gut angepaßt werden. Dieser Geräteträger enthält die in Tab. 6 zusammengefaßten Meßsysteme. In einem zweiten Schwebekörper, der in entsprechendem Abstand über den Geräteträger angeordnet ist, sind die Side-Scan-Sonargeräte und ein weiterer Voraussensor (Fernortung von Hindernissen) untergebracht.

Geräteträger wie für das Mn-Knollen-Explorationssystem notwendig (vergl. Tab. 7) werfen einige technische Probleme auf, sind jedoch, wie in Studien der einschlägigen Industrie gezeigt werden konnte, realisierbar.

Während die Komponenten Fernsehen, Echolote (Sedimentlot), Druckmesser, Voraussensor, Beschleunigungsmesser, Steuersystem usw. teilweise im Einsatz oder in Erprobung bzw. für andere Anwendungsfälle seit Jahren in Betrieb sind und evtl. noch an Tiefseebedingungen angepaßt werden müssen, stellt das Analysengerät eine Neuentwicklung dar. Die für die Bestimmung des Metallgehaltes zur Verwendung vorgesehene Neutronen-Einfang-Gammaspektroskopie (NEG) ist, da sie schwierige Strahlungs-Untergrundprobleme impliziert und hochauflösende γ -Spektrometer bedingt, nicht in dem Maße eine Routinetechnik wie die Neutronenaktivierungsanalyse, jedoch in ihren Prinzipien und Möglichkeiten bekannt. Die notwendigen Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich hier auf die Optimierung der Geometrie, d.h. die Anordnung der Manganknollenprobe, der Neutronenquelle und der Detektoren sowie auf die Auslegung dieser drei Komponenten (Menge der Knollen pro Analyse, Stärke der Neutronenquelle, Größe und Empfindlichkeit der Detektoren). Weiter sind Entwicklungsarbeiten nötig, um die elektronischen, elektrischen und mechanischen Komponenten des Analysensystems, die im Geräteträger untergebracht werden müssen, den Bedingungen der Tiefsee anzupassen bzw. in geeigneten Behältern unterzubringen. Letzteres be-

dingt die Anpassung von Bauteilen an die Behälter und damit eine Änderung bestehender Bauformen. Nur so ist ein günstiges Gewicht des Gerätes erreichbar. Desweiteren werden Vorbereitungen getroffen, das gesamte Analysengerät (Tab. 8) in einem in-situ-Versuch zu testen. Hierfür soll das Gerät in einem bodengebundenen, geschleppten Fahrzeug - einem Schlitten - untergebracht werden (16).

6.2 Kabel

Der Geräteträger ist mit dem Schiff über ein Kabel verbunden, das sowohl die für den Schleppvorgang notwendigen Kräfte als auch die für die Geräte im Geräteträger notwendige Energie sowie die Daten und Steuerimpulse überträgt. Alle Funktionen können von einem einadrigen Koaxialkabel entsprechenden Aufbaues (vergl. Tab. 9) erfüllt werden.

6.3 Schiff

Als Systemträger kann jede Art Schiff Verwendung finden, sofern sichergestellt ist, daß hinsichtlich Navigation, Antriebsleistung sowie Platzverhältnisse für Geräteträger, Datenverarbeitung und Handling genügende Voraussetzungen vorhanden sind.

Als Zugaggregat sollte es entsprechend den erforderlichen Schleppgeschwindigkeiten zwischen 1 und 8 kn ca. 6000 Wellen-PS aufweisen. Eine moderne Navigationsanlage guter Qualität für Satelittennavigation und eine Hilfsboje sowie ein Schelfrandlot sind unabdinglich. Zum Fieren und Hieven des Geräteträgers muß das Schiff mit entsprechenden Handlingsvorrichtungen (vergl. Abb. 7) ausgestattet sein. An Deck sollte genügend Platz sein, um Wartungsarbeiten am Geräteträger ausführen zu können. Zur Unterbringung des Rechners mit Peripherie sind entsprechend ausgestattete Räume nötig.

7. Arbeitsweise des Systems

7.1 Ermittlung der Explorationsdaten (Abb. 8)

Zur Ermittlung der Belegungsdichte u.ä. wird der Tiefseeboden mittels

einer Fernsehkamera mit bildsynchron gepulster Beleuchtung betrachtet. Das Bildsignal wird nach erfolgter Frequenzumsetzung frequenzmoduliert über das Kabel an Bord des Schiffes auf einen Monitor übertragen. Das Bild wird dort von einem automatischen Bildauswerter (z.B. Quantimet) analysiert und diese Daten dem Computer eingegeben. Parallel hierzu wird der Boden laufend mit den Side-Scan-Sonargeräten überwacht und diese Signale ebenfalls über das Kabel dem Computer eingespeist.

Zur Ermittlung des prozentualen Gehaltes der Wertmetalle in den Knollen sind unabhängig voneinander

- das Neutroneneinfang-Gammaspektrum
- die Schüttdichte der Manganknollen im Knollenbehälter
- der Neutronenfluß in der Mitte und am Rande des Knollenbehälters

aufzunehmen. Hierfür werden die Knollen vom Boden aufgenommen, in ein Analysengefäß gefüllt, mit Neutronen bestrahlt und die aus dem Einfang der Neutronen in den Manganknollen resultierenden prompt emittierten Gammaquanten mit einem hochauflösenden Ge(Li)-Detektor nachgewiesen. Diese Quanten erzeugen dort ihrer Energie proportionale Spannungsimpulse, die in den nachgeschalteten Verstärkern mehrfach verstärkt und zur Erreichung eines optimalen Signal-Rausch-Verhältnisses entsprechend geformt werden müssen. Zur störunanfälligen Übertragung über das Kabel und zur Auswertung im Computer werden diese Daten zusammen mit den ebenfalls analog anstehenden Meßwerten des Neutronenflusses und der Manganknollenmengenbestimmung in digitale Impulsfolgen umgewandelt. Die digitalisierten Daten werden zur Reduktion der anschließend zu übertragenden Datenmenge über ein Adressenregister einem Zwischenspeicher zugeführt. Von hier werden die Daten nach Beendigung der Analyse durch einen Computerbefehl abgerufen, einer Trägerfrequenz aufmoduliert und in das Kabel eingespeist. An Bord werden die Daten demoduliert, geformt und dem Computer zur weiteren Verarbeitung eingegeben.

Die Schüttdichte der Manganknollen wird mit Hilfe von γ -Strahlen bestimmt, die von einer am oberen Rand des Separators befindlichen γ -Quelle in einem gut kollimierten Strahl emittiert werden. Je nach Zahl, Größe und Dichte der Knollen wird die Strahlung verschieden

stark absorbiert und in einem NaJ(Tl)-Kristall, der gegenüber der Quelle angebracht ist, nachgewiesen. Der an den NaJ(Tl)-Kristall angekoppelte Photomultiplier gibt der Gammaenergie proportionale Impulse ab, die in den anschließenden Verstärkerstufen mehrfach verstärkt und geformt werden. Gleichzeitig liefert dieser quer durch den Separator gehende γ -Strahl eine Aussage darüber, ob der Separator nur mit Seewasser oder durch den Ansaugvorgang mit Manganknollen gefüllt ist. In diesem Fall wird die γ -Strahlung durch die höhere Dichte der Knollen wesentlich stärker absorbiert, die Zählrate sinkt ab und das Ratemeter zeigt eine kleinere Ausgangsspannung an als Signal zum Beenden des Ansaugvorganges und zum Beginn der eigentlichen Analyse.

Zur Bestimmung des Neutronenflusses werden die von der Cf-252-Quelle bis zum Rande des Separators vordringenden thermalisierten Neutronen in einem Zählrohr nachgewiesen, die Ausgangsimpulse werden verstärkt und in einem Ratemeter integriert. Dieses gibt eine der Zahl der Neutronen pro Sekunde und Fläche proportionale Spannung ab.

Die bei den Messungen aufgenommenen Werte stehen als analoge Spannungsimpulse oder als Gleichspannungspegel zur Verfügung. Zur Reduktion der zu übertragenden Datenmenge und auch zur störsicheren Übertragung über das Tiefseekabel werden sie in digitale Impulsfolgen umgewandelt und einem Zwischenspeicher zugeführt. Von hier aus werden die Daten vom Computer abgerufen, einer Trägerfrequenz aufmoduliert und über das Kabel übertragen.

Zur Ermittlung der Bodenbeschaffenheit und der Oberflächenform wird der Boden kontinuierlich mit Echoloten überwacht, und diese Signale werden über das Kabel dem Computer eingespeist.

Die Auswertung aller Daten erfolgt über den Computer, der auch den Betrieb des genannten Systems überwacht. Da die Bestimmung der Metallgehalte diskontinuierlich geschieht, kann von einem Arbeitszyklus gesprochen werden, wobei die Zyklusdauer von der Belegungsichte (Zeit zum Füllen des Analysengefäßes) und der gewünschten Analysengenauigkeit abhängt. Setzt man eine mittlere Belegungsichte ($5 \text{ dm}^3/\text{m}^2$) und eine mittlere Analysengenauigkeit (15%) voraus, beträgt die Zyklusdauer ca. 15 Minuten. Der Computer enthält die zur Bestimmung der Belegungsichte (dm^3/m^2), der Knollengröße (cm) und des

Metallgehaltes (%), ebenso die für die notwendigen Korrekturen erforderlichen Rechenprogramme. Unmittelbar nach Empfang aller Meßdaten beginnt automatisch die Auswertung, so daß die Ergebnisse innerhalb des folgenden Arbeitszyklus zur Verfügung stehen. Neben der Ausgabe über einen Drucker (ein Beispiel der Ausgabe der Mangan-Knollen-Daten zeigt Abb. 9) werden die Daten redundant auf ein Magnetband gespeichert. Die Informationen über die Bodenbeschaffenheit, Oberflächenstruktur und Wassertiefe können laufend als Funktion der Position ausgegeben oder gespeichert und in Kartenform ausgeplottet werden.

7.2 Eigenüberwachung des Systems

Die zweite Funktion des Computers ist die Steuerung und Kontrolle des Explorationssystems. Abb. 10 zeigt in Form eines Flußdiagramms das Konzept für das Steuer- und Kontrollprogramm.

Das Konzept ist in mancher Hinsicht bewußt einfach gehalten, um dem Operateur an Bord bei der Datenausgabe einen sicheren und schnellen Überblick über den Zustand und die Operationen des Geräteträgers zu gewährleisten. Bei Fehlermeldungen wird deshalb in den meisten Fällen der Eingriff des Operateurs vorgesehen und nur in ganz klaren Situationen eine automatische Programmänderung eingebaut. Die jeweilige Programmphase und etwaige Fehlermeldungen werden vom Computer mit genauer Zeitangabe auf einer Ausgabeliste ausgedruckt (Tab. 10).

Nach dem von Hand eingeleiteten Start des Steuer- und Kontrollprogramms wird zu Beginn des Absenkens des Geräteträgers in kurzen Zeitabständen (alle 1 bis 5 Sekunden) nach eventuell auftauchenden Hindernissen, nach der Lage des Gerätes (Beschleunigung), nach dem Zustand der Elektronik (Sicherungen), nach dem Bodenkontakt der Düse und nach dem Wasserdruck zur Ermittlung der Tauchtiefe des Gerätes gefragt. In größeren Zeitabständen werden die Klimawerte (Temperatur des Ge-Detektors, Feuchte und Innentemperatur des Elektronik-Behälters) abgefragt. Nach dem ersten Bodenkontakt werden die Arbeitsbedingungen in dem Vorbereitungsprogramm für die Saugphase überprüft. Die Manganknollen sollen bei möglichst gleichförmiger Fahrt und möglichst konstantem Bodenkontakt in den Knollenbehälter gepumpt werden. Um diese Voraussetzungen zu gewährleisten, wird unter Berücksichtigung

der sehr wahrscheinlich unvermeidlichen "Sprünge" der Düse abgewartet, bis die über eine vorgegebene Zeit geforderte Mindestanzahl von Bodenkontakten erreicht wird.

Wenn diese beiden Bedingungen erfüllt sind, wird nach einer Entleerung des Knollenbehälters (um sicher zu gehen, daß keine Rückstände die nachfolgende Analyse verfälschen und die Bodenklappe zu Beginn der Saugphase geschlossen ist) die Saugpumpe eingeschaltet. Während dieser Phase läuft wie auch in den vorausgegangenen Phasen das schnelle Kontrollprogramm, um hier vor allen Dingen ein Hindernis oder eine Schräglage des Geräteträgers festzustellen. In beiden Fällen wird bei entsprechender Fehlermeldung (AF1 oder AF2) der Phasenablauf abgebrochen, das Kontrollprogramm zur weiteren Übermittlung von Hindernis-, Schräglage- und Sicherungs-Daten in Gang gehalten und die Sonde angehoben. Wenn keine derartige Störung eintritt, wird bis zur Meldung "Behälter gefüllt" weitergepumpt. Auch während der Saugphase wird der Bodenkontakt überprüft und wie in der Vorbereitungsphase die relative Anzahl der positiven Bodenkontaktmeldungen über einen vorgegebenen Zeitabschnitt ermittelt. Ist nach Ablauf dieses Zeitabschnittes das Analysengefäß noch nicht gefüllt, gibt die ausgedruckte Meldung (AF 7) Aufschluß über die mögliche Ursache der Verzögerung: zu geringer Bodenkontakt.

Die Analysenphase beginnt mit dem Einschalten der Analog-Digital-Wandler (ADC) zur Digitalisierung und Speicherung der Detektorimpulse. Gleich zu Beginn der Phase werden die Klima- und Neutronenflußwerte übermittelt. Eine zu hohe Temperatur des Ge-Detektors läßt eine nicht mehr tragbare Analysenverfälschung erwarten und führt ebenso wie Hindernis- und Schräglagemeldung zum Ausschalten der ADC's. Mögliche Fehlermeldungen führen zum Umschalten auf verkürztes Kontrollprogramm und fordern den Operateur zum manuellen Eingriff auf.

Nach Ablauf einer Analysenzeit von wenigen Minuten ruft der Computer die bisher gespeicherten Daten zur Vorab-Analyse ab und vergleicht sie mit bestimmten Sollwerten. Findet keine Übereinstimmung statt, kann der Operateur entscheiden, daß die Phase abgebrochen und der Zyklus mit den Phasen "Leeren" und "Saugen" wiederholt wird.

Erfolgt während der Analysenphase kein vorzeitiger Abbruch, schaltet der Computer nach einer vorgebbaren Analysenzeit die ADC's aus und fragt noch einmal die Temperatur des Ge-Detektors ab. Die Auswertung dieser Messung ergibt bei überhöhter Temperatur eine Meldung, aber auch bei zu hoher Temperaturdrift gegenüber der ersten Messung zu Analysenbeginn. Im Gegensatz zur ersten Messung hat eine Meldung jetzt keine automatische Programmänderung zur Folge. Nach der sich anschließenden Phase "Leeren", bei der der Knollenbehälter geleert wird und die Analysenwerte aus den Speichern abgefragt werden, beginnt der Zyklus mit der Saugphase von neuem.

8. Analysenkosten

Wesentliche Faktoren für den Einsatz von Analysenverfahren und -Geräten sind neben der Genauigkeit und Handhabbarkeit die notwendigen Investitionen und Kosten des laufenden Betriebs. In Tab. 11 sind die voraussichtlichen Kosten für das integrierte Manganknollenexplorationssystem zusammengestellt.

Die spezifischen Kosten - die Kosten pro Analyse und die Kosten pro km^2 zu analysierender Fläche -, mit deren Hilfe sich verschiedene Analysenverfahren oder Systeme vergleichen lassen, sind abhängig von

- dem Abstand der Meßpunkte voneinander, d.h. der Anzahl Analysen pro Flächeneinheit und damit vom Explorationsmodell
- der gewünschten Genauigkeit der Analyse, da diese die Analysenzeit und damit die Zyklusdauer beeinflusst
- dem Wertmetallgehalt, da bei konstanter Analysengenauigkeit die Analysenzeit mit steigendem Gehalt geringer wird
- der Belegungsdichte, die die Sammelzeit beeinflusst
- der Topographie, d.h. der Möglichkeit der Knollenaufnahme und der dem Gelände anzupassenden Schleppgeschwindigkeit

In der Abb. 11 sind die spezifischen Analysenkosten auf der Basis der Werte von Tab. 11 dargestellt. Zu ihrer Berechnung wurde weiter angenommen

- Verfügbarkeit des Systems vor Ort ca. 70 %, errechnet aus 3 d Anfahrzeit, 22 d Einsatz, 3 d Rückweg, 3 d Liegezeit
- Verfügbarkeit des Geräteträgers ca. 90 %, d.h. 2 x 10 d innerhalb der 22 d Einsatzzeit.

Dies ergibt eine Einsatzdauer von ca. 65 %, d.h. von ca. 235 d/a. Damit entstehen Kosten (bei 100 % Anrechnung der Schiffskosten) von 26 TDM je 24 h.

Der in der Abbildung getönte Bereich bezeichnet das Gebiet vorzugsweiser Anwendung des Systems. In ihm kann das System ohne Totzeiten zwischen den Arbeitszyklen arbeiten. Die Fahrgeschwindigkeit wird hier von der geforderten Analysendichte, der geforderten Analysengenauigkeit und der Topographie bestimmt. Unterhalb dieses Bereiches zu arbeiten ist wegen des zu großen Meßfehlers nicht sinnvoll. Oberhalb dieses Bereiches entstehen Totzeiten zwischen den Arbeitszyklen, was zur Steigerung der spezifischen Kosten führt. Eine Kostensenkung (in der Abb. nicht gezeigt) kann hier evtl. eintreten, wenn die Möglichkeit besteht, die Entfernung zwischen zwei Analysenpunkten mit größerer Geschwindigkeit zu überwinden, als für die Probenahme nötig ist.

9. Literatur

- (1) C.W. Sames
Die Zukunft der Metalle Suhrkamp (1971)
- (2) J.L. Mero
The Mineral Resources of the Sea
Elsevier Publishing Company (1965)
- (3) Regierungsbeschuß vom 26.6.1970
- (4) Meeresforschung und Meerestechnik in der BRD 1972-1975
Broschüre des BMBW (1972)
- (5) D.R. Horn et al., Ferromanganesee Deposits of the North Pacific,
NSF GX-33616 Technical Report 1
- (6) D.R. Horn et al., Metal Content of Ferromanganesee Deposits
of the Oceans, NSF GX-33616 Technical Report 3
- (7) D.R. Horn et al., Ocean Manganese Nodules-Metal Values
and Mining Sites, NSF GX-33616 Technical Report 4
- (8) N.Hering, Erze in großen Meerestiefen, 1. Teil
Meerestechnik 4 (1971)
- (9) A. Amann, Möglichkeiten zur optimalen Schiffsnutzung bei der
marinen Großflächenprospektion, Meerestechnik 4 (1973) S. 109
- (10) N. Hering, Erzgesellschaft Frankfurt, private Mitteilung
- (11) U. Fanger, R. Pepelnik, Exploration von marinen Lagerstätten,
KFK 1656 (1972) S. 148
- (12) U. Fanger, R. Pepelnik, H. Würz, H. Eberle
Transmissionsuntersuchungen, KFK 1849 (1974) S.

- (13) H. Würz, L. Buth, Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Lagerstättenprospektion mit Hilfe von neutroneninduzierter Gammastrahlung, KFK 1771 (1973)
- (14) N. Hering, Erze in großen Meerestiefen, 2. Teil
Meerestechnik 5 (1971)
- (15) F.C. Kögler, Universität Kiel, private Mitteilung
- (16) I. Lange et al., Technische Entwicklung
KFK 1849 (1974) S. 184

1000 metr. t	Aluminium			Blei			Kupfer				Zink		Zinn				Nickel			Magnesium Produkt.	Kadmium Produkt.	Quecksilber Produkt.	Silber Bergwerks- produkt.	1000 metr. t		
	Bau- produkt.	Hütten- produkt.	Ver- brauch	Berg- werks- produkt.	Raffinade- produkt.	Ver- brauch	Berg- werks- produkt.	Hütten- produkt.	Raffinade- ver- brauch	Berg- werks- produkt.	Hütten- produkt.	Ver- brauch	Berg- werks- produkt.	Hütten- produkt.	Ver- brauch	Berg- werks- produkt.	Hütten- produkt.	Ver- brauch								
Deutschland, BR	2,9	427,5	684,4	41,1	302,0	286,5	1,4	87,4	400,1	630,5	131,8	262,6	387,5	—	2,3	15,4	—	0,2	34,3	—	0,98	0,07	0,06	Deutschland, BR		
Belgien-Luxemburg	—	—	190,9	—	93,9	63,8	—	18,0	312,8	113,4	—	212,6	135,6	—	3,9	2,8	—	—	2,0	—	0,95	—	—	Belgien-Luxemburg		
Frankreich	3183,6	375,1	377,4	29,8	158,5	188,4	0,3	—	29,3	343,6	15,1	218,7	225,4	0,3	—	10,5	—	9,9	32,2	7,2	0,58	—	0,06	Frankreich		
Italien	190,8	136,7	254,0	31,6	75,8	178,0	1,5	—	9,5	270,0	105,9	139,8	170,0	—	—	7,2	—	—	18,0	7,7	0,35	1,47	0,04	Italien		
Niederlande	—	116,4	59,2	—	23,7	51,6	—	—	—	41,6	—	41,4	34,0	—	0,8	5,0	—	—	0,7	—	0,12	—	—	Niederlande		
EWG	3377,3	1055,7	1565,9	102,5	653,9	768,3	3,2	105,4	751,7	1399,1	252,8	875,1	952,5	0,3	7,0	40,9	—	10,1	87,2	14,9	2,98	1,54	0,16	EWG		
Finnland	—	—	15,5	4,7	—	10,0	28,5	32,3	32,3	29,3	—	63,7	8,4	—	0,3	—	—	3,5	3,9	0,3	0,12	0,01	0,02	Finnland		
Griechenland	3087,0	113,5	27,0	10,2	19,8	—	—	—	—	—	—	13,9	—	—	—	10,7	—	—	—	—	—	—	—	0,02	Griechenland	
Großbritannien	—	119,0	325,6	1,5	263,6	276,7	—	—	187,6	509,7	—	116,5	273,7	1,8	25,2	18,1	—	38,7	31,0	—	0,26	—	—	Großbritannien		
Jugoslawien	1959,0	46,6	80,0	125,2	99,1	50,0	107,3	90,5	92,6	67,9	100,2	53,1	55,0	—	—	1,5	—	—	1,0	—	0,14	0,57	—	0,10	Jugoslawien	
Norwegen	—	530,2	80,0	3,2	12,5	22,6	33,3	27,7	5,0	11,0	62,4	25,0	—	—	—	0,4	—	41,8	0,9	36,5	0,09	—	—	Norwegen		
Österreich	—	90,7	72,7	6,4	14,0	26,6	2,6	1,5	21,3	42,2	15,2	16,0	19,8	—	—	0,6	—	—	3,0	—	0,03	—	—	0,01	Österreich	
Schweden	—	75,5	79,0	77,7	44,8	42,9	27,5	37,4	49,6	91,4	95,7	—	32,9	—	—	0,6	—	—	19,0	—	—	—	—	0,12	Schweden	
Schweiz	—	94,0	87,9	—	—	22,3	—	—	—	40,5	—	—	25,7	—	—	0,9	—	—	1,8	—	—	—	—	—	Schweiz	
Spanien	5,4	127,4	150,4	70,2	71,9	74,1	43,1	70,6	73,2	103,4	87,5	89,7	67,9	0,5	5,0	3,9	—	—	3,1	—	0,10	2,32	0,05	Spanien		
Übriges Europa	—	41,9	20,1	53,0	13,6	60,2	16,3	4,5	4,2	26,1	—	—	30,5	0,5	0,5	1,6	—	—	0,3	—	0,08	—	—	0,06	Übriges Europa	
Europa	8428,7	2294,5	2504,1	454,6	1180,7	1343,6	251,1	375,5	1240,2	2314,6	716,5	1276,5	1491,4	3,1	37,7	68,8	14,2	105,2	147,6	51,4	3,72	4,52	0,54	Europa		
Indien	1487,0	178,3	193,0	3,3	1,5	33,0	11,2	9,5	9,6	46,4	9,0	21,2	91,5	—	—	2,6	—	—	—	—	0,03	—	—	—	Indien	
Indonesien	1237,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19,8	9,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Indonesien	
Japan	—	893,2	946,0	70,6	215,1	209,7	120,5	500,0	713,3	826,3	299,4	721,2	603,9	0,8	1,3	30,4	—	103,0	87,0	9,7	2,68	0,20	0,36	Japan		
Malaysia	977,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	75,4	87,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Malaysia	
Philippinen	—	—	—	—	—	—	197,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,16	—	Philippinen		
Übriges Asien	130,1	53,3	134,0	59,9	18,1	48,0	65,6	26,9	25,0	35,0	92,6	9,2	110,0	23,7	21,7	4,0	0,1	—	3,0	—	—	0,33	0,14	Übriges Asien		
Asien	3832,9	1124,8	1273,0	133,8	234,7	290,7	394,7	536,4	747,9	907,7	401,0	751,6	805,4	119,7	119,3	37,0	14,8	103,0	90,0	9,7	2,71	0,69	0,50	Asien		
Algerien, Mar., Tun.	—	—	—	104,6	35,2	—	—	—	—	—	—	38,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Algerien, Mar., Tun.	
Saire	—	—	—	—	—	—	407,5	407,5	200,0	—	—	62,7	—	6,5	1,4	—	—	—	—	—	0,26	—	—	0,05	Saire	
Sambia	—	—	—	28,3	28,3	—	651,4	643,7	534,3	—	—	57,0	—	—	—	—	—	—	—	—	0,01	—	—	—	Sambia	
Süd- u. Südwestafrika	—	29,4	55,0	73,2	68,4	28,0	182,8	189,1	79,0	41,5	48,9	42,4	53,8	3,0	—	2,0	12,8	9,0	—	—	0,16	—	—	0,11	Süd- u. Südwestafrika	
Übriges Afrika	3553,6	161,8	20,0	0,1	—	15,9	49,4	39,0	24,5	13,7	—	—	14,0	9,7	9,3	1,1	11,7	7,0	—	—	—	0,11	—	—	Übriges Afrika	
Afrika	3553,6	191,2	75,0	206,2	131,9	43,9	1291,1	1279,3	837,8	55,2	253,1	162,1	67,8	19,2	10,7	3,1	24,5	16,0	4,0	—	0,43	0,26	0,27	Afrika		
Vereinigte Staaten	2001,6	3560,9	3916,1	520,2	693,8	871,1	1390,8	1360,8	1779,0	1828,9	445,8	762,2	1135,3	—	3,1	52,8	14,1	14,5	116,0	112,0	3,58	0,61	1,26	Vereinigte Staaten		
Argentinien	—	—	—	38,0	43,8	41,0	—	—	—	33,0	42,0	33,5	32,0	2,0	0,1	1,8	—	—	—	—	—	—	—	—	0,07	Argentinien
Bolivien	—	—	—	23,1	—	—	7,7	—	—	—	—	45,8	—	31,0	7,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,18	Bolivien
Brasilien	450,0	80,6	95,0	27,0	25,7	32,7	—	—	60,0	—	—	14,0	55,0	5,1	3,5	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—	Brasilien	
Chile	—	—	—	1,0	—	—	708,3	625,1	467,8	26,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,01	—	—	Chile	
Kanada	—	1016,9	230,0	358,4	168,4	56,0	653,0	462,3	477,5	220,4	1140,7	372,0	114,4	—	—	5,0	267,3	165,6	10,9	6,6	0,68	0,52	1,43	Kanada		
Mexiko	—	39,9	40,0	156,9	158,8	93,2	63,2	61,9	52,6	53,6	265,0	83,4	42,4	—	1,0	—	—	—	—	—	0,19	1,22	1,14	Mexiko		
Peru	—	—	—	177,5	67,1	—	192,6	166,8	32,6	—	—	387,5	57,2	—	—	—	—	—	—	—	0,17	0,06	1,19	Peru		
Übriges Amerika	25480,1	76,6	52,0	16,9	—	18,0	22,8	5,0	5,0	6,0	39,0	—	24,5	0,7	—	3,0	38,0	34,8	5,0	—	—	0,01	0,23	Übriges Amerika		
Amerika	27931,7	4774,9	4333,1	1319,0	1157,6	1112,0	3038,4	2681,9	2814,5	2228,6	2365,8	1322,3	1403,6	38,8	15,2	66,1	319,4	214,9	131,9	118,6	4,62	2,43	5,50	Amerika		
Australien u. Oz.	12538,6	245,6	153,6	398,7	186,4	60,7	169,9	143,2	156,3	105,4	448,2	255,5	116,0	9,5	6,3	4,3	170,0	43,9	4,0	—	0,56	—	0,68	Australien u. Oz.		
Westl. Länder	56285,5	8631,0	8338,8	2512,3	2891,3	2850,9	5145,2	5016,3	5796,7	5611,5	4184,6	3768,0	3884,2	190,3	189,2	179,3	542,9	483,0	377,5	179,7	12,04	7,90	7,49	Westl. Länder		
UdSSR	5800,0	1730,0	1350,0	485,0	560,0	513,6	990,0	990,0	1150,0	1030,0	610,0	635,0	560,5	27,0	27,0	34,0	120,0	120,0	—	45,0	2,40	1,70	1,25	UdSSR		
Deutschland, DDR	—	60,0	155,0	5,0	20,0	100,0	2,0	2,0	40,0	90,0	5,0	15,0	80,0	1,0	1,1	2,5	—	—	—	—	0,01	—	—	0,05	Deutschland, DDR	
Polen	—	100,5	130,0	67,0	60,2	70,0	89,0	89,0	92,7	—	265,0	220,1	143,0	—	—	4,7	1,5	1,5	—	0,3	0,42	—	—	0,08	Polen	
Übriges Osteuropa	2890,0	217,8	323,2	147,0	160,0	164,8	72,5	72,5	87,6	210,0	140,0	139,0	150,9	0,2	0,1	5,9	6,0	6,0	—	—	0,20	0,24	0,07	Übriges Osteuropa		
China, VR	500,0	145,0	170,0	120,0	120,0	170,0	—	—	—	—	110,0	110,0	170,0	23,0	23,0	15,0	—	—	—	—	—	0,90	0,03	China, VR		
Übr. östl. Asien	—	—	5,0	70,0																						

Metall	Verbrauch	durchschnittl.	vorauss. Bedarf	vorauss. Bedarf	terrestr. Vorräte
	1969 10 ³ Tonnen	Steigerungs- rate %a -1	1985 10 ³ Tonnen	1970 - 1985 10 ³ Tonnen	1969 10 ³ Tonnen
Co	23	4,7	43	500	3 000
Cu	5 800	4,5	11 700	138 000	300 000
Mn	17 500	3,8	40 800	240 000	2 000 000
Ni	480	6,5	1 300	14 000	50 000
Pb	3 800	3,5	5 500	73 000	90 000
Sn	240	2,3	280	4 000	6 000
Ti	37	19,0	135	1 235	220 000
Zn	4 900	4,5	9 300	112 000	110 000

Tab. 2: Weltreserven und vorauss. Bedarf einiger Metalle
 (aus C.W.Sames "Die Zukunft der Metalle", Suhrkamp 1971 und
 "Mineralische Rohstoffe aus dem Meer", Wirtschaftsvereinigung
 Industrielle Meerestechnik 1971)

Tab. 3: Zusammensetzung von Mn-Knollen

Material	Gewichtsanteil (%)		
	max.	min.	durchschnittl.
Mn O ₂	63,0	11,4	31,7
Fe ₂ O ₃	42,0	6,5	24,3
Si O ₂	29,0	5,0	19,0
Al ₂ O ₃	14,0	0,6	3,8
Ca C O ₃	7,0	2,2	4,0
Ca S O ₄	1,3	0,3	0,8
Ca ₃ (P O ₄) ₂	1,4	-	0,3
Mg C O ₃	5,1	0,1	2,7
H ₂ O	24,8	8,7	13,0

Tab. 4: Gewichtsanteile einiger wichtiger Metalle in Manganknollen aus dem Pazifik

Metall	Gewichtsanteil (%)		
	max.	min.	durchschnittl.
Al	6,9	0,8	2,9
Co	2,3	0,014	0,35
Cu	1,6	0,028	0,53
Fe	26,6	2,4	14,0
Mg	2,4	1,0	1,7
Mn	41,1	8,2	24,2
Na	4,7	1,5	2,6
Ni	2,0	0,16	1,0
Pb	0,36	0,02	0,09

Tab. 5: Vorräte einiger Metalle in Manganknollen des Pazifik

Metall	Vorrat 10 ⁹ Tonnen
Al	43,0
Co	5,2
Cu	8,0
Fe	207,0
Mg	25,0
Mn	358,0
Na	43,0
Ni	15,0
Pb	1,3

Tab. 6: Im Geräteträger enthaltene Systeme

System	Aufgabe
Fernsehen	Aufnehmen von Populationsdichte und Knollengröße
Analysengerät ¹⁾	Feststellen der Wertmetallgehalte
Echolote	Erfassen der Bodenbeschaffenheit
Druckmesser	Messen der Wassertiefe
Vorausensor	Feststellen von Hindernissen in Fahrtrichtung und Messen von deren Abstand u. Höhe
Beschleunigungsmesser	Bestimmung der Schwimmlage und Messen von Fahrgeschwindigkeitsänderungen
Steuersystem	Halten eines definierten Bodenabstandes und Manövrierhilfe zum Ausweichen von Hindernissen
Auftriebskörper	Herabsetzen des Gewichtes
Kabel	Aufbringen der Zugkraft auf den Schwebekörper und Energie- sowie Datenübertragung

Tab. 7: Geräteträger zur Manganknollenanalyse

Abmessungen	Länge	8,5 m
	Durchmesser	1,6 m
Manövrieren	Einsatztiefe bis	6000 m
	Schleppgeschwindigkeit	
	max	8 kn
	min	1 kn
	Bodenabstand	3 m \pm 0,5 m
Einsatzdauer ohne Wartung	bis	10 d
Gewicht	in der Luft	8000 kg
	im Wasser (6000m)	0 kg
Strahlenschutz	Dosisleistung an der Oberfläche	2,5mrem/h
Energieversorgung	Leistungsbedarf	20 kVA
	Spannung	6 kV \pm 10 %
	Frequenz	50 Hz \pm 2 %

Tab. 8: Komponenten des Wertmetall-Analysengerätes

Komponente	Aufgabe
Hydraulisches System (bestehend aus: Düse, Saugschlauch, Separator und Pumpe)	Aufnehmen der Knollen vom Meeresboden, deren Transport zum Separator, Trennen von Sediment und Knollen, Einfüllen der Knollen in das Analysengefäß
Analysengefäß (bestehend aus: Behälter, Neutronenquelle, Abschirmung, Füllstandmessung und Auslaßklappe)	Aufbewahrung der Knollen während der Analyse, Bestrahlung der Knollen mit Neutronen, Ausstoßen der Knollen nach der Analyse
Analysensystem (bestehend aus: Ge(Li)-Detektor mit Kühlung, 4096-Kanal-Gamma-Spektrometer, Flußmessung, Dichtemessung, ADC und Memory)	Aufnehmen der Gammaspektren und Speichern der Daten während der Meßzeit
Meßsysteme	Überwachung von Temperaturen am Detektor und in Behältern, Bodenkontakt der Düse, u.a.
Übertragungselektronik	Aufbereitung der Daten und Aufgabe auf das Kabel

Tab. 9: Kabel zum Manganknollen-Explorationssystem

Durchmesser	26 mm
Länge	10 km
Reißlast	50 000 kg
Betriebsspannung	6 kV
Gleichstromwiderstand	5 Ω /km
Wellenwiderstand	60 Ω
Kapazität	< 35 pF/m
Dämpfung bei 1 MHz	< 3 dB/km

Tab. 10: Übersicht über die Protokoll-Ausdrucke

Phasenmeldung	Fehlermeldung
A 1 Absenken	AF 1 Hindernis
A 2 Bodenkontakt	AF 2 Schräglage
A 3 Leeren	AF 3 Sicherung defekt
A 4 Saugen	AF 4 Meßwert Detektortemperatur
A 5 Analysenbeginn	
A 6 Anheben	AF 5 Detektortemp.-Regelung defekt
	AF 6 Überschreiten der max. Detektor- temperatur
	AF 7 Saugzeit zu lang
	Anzahl der Bodenkontakt-Messungen
	Anzahl der Bodenkontakte
	AF 8 Meßwert-Temperatur-Elektronik- Behälter
	AF 9 Meßwert Feuchte
	AF 10 Bodenkontakt nicht ausreichend
	AF 11 Längsbeschleunigung zu groß

Tab. 11: Kosten des integrierten Manganknollen-Explorationssystems

System- komponente	Lebensdauer (a)	Herstellungs- kosten (TDM)	Kosten- art (TDM)	Jahreskosten (TDM/a)
Geräteträger	1	940	Abschreibung Wartung u. Instandhaltung	940 200
Kabel	0,5	300	Abschreibung	600
Datenverarbeitung	5	200	Abschreibung Wartung u. Instandhaltung	40 20
Schiff ¹⁾ mit Mannschaft				3.500
Spezielle Schiffs- ausrüstung ²⁾	5	2.000	Abschreibung Wartung u. Instandhaltung	400 200
Systembedingtes Personal ³⁾			Personalkosten	200
Sunme				6.100

1) z.B. Versorgungsschiff

2) Navigationsanlage, Hilfsboje, Handlungseinrichtung

3) zwei Akademiker

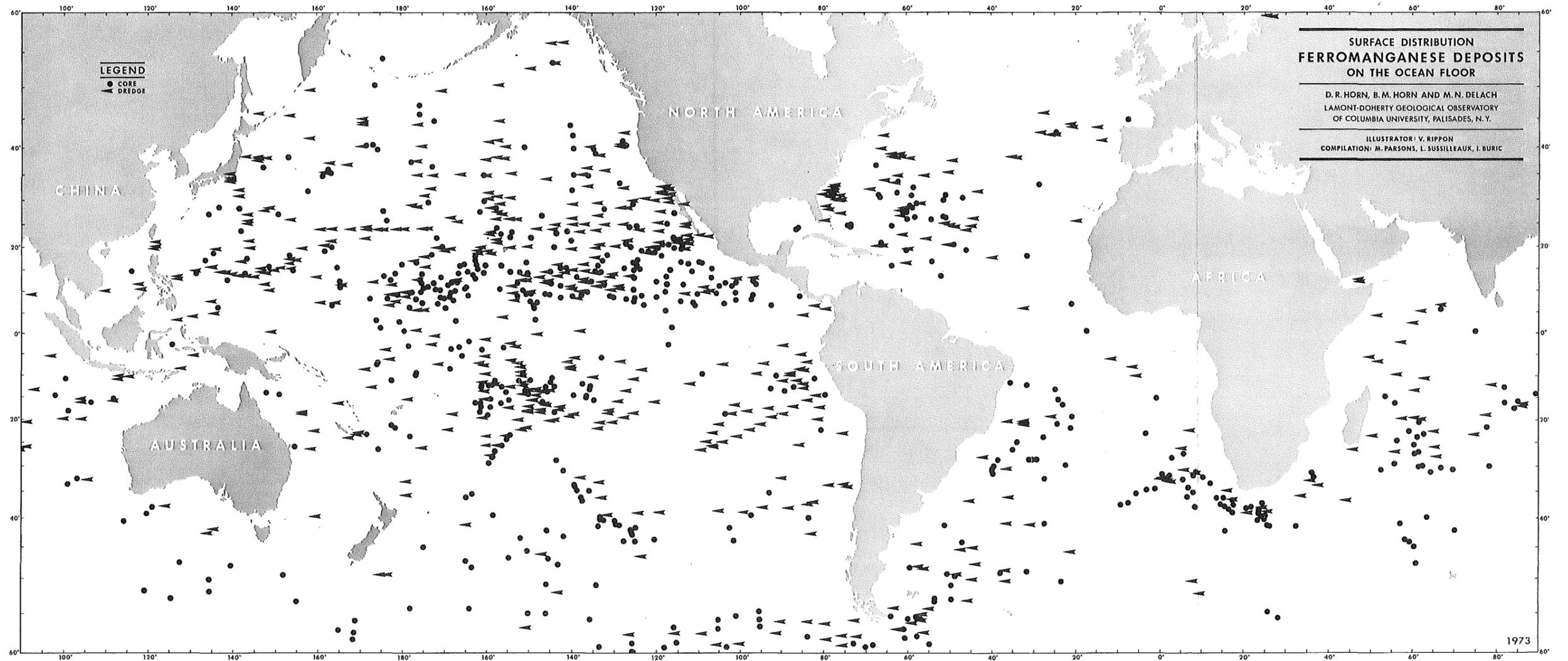


Abb. 1: Übersicht über die Verteilung von Mn-Knollen in den Weltmeeren
(aus D.R.Horn et al "Metal Content of Ferromanganese Deposits of the Oceans"
NSF GX33616 Technical Report 3, 1973)

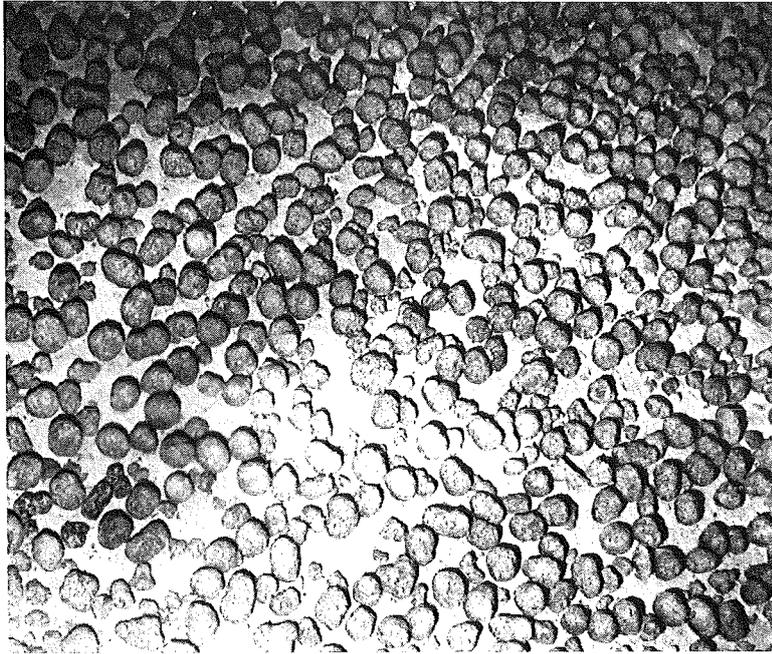


Abb. 2: Manganknollen auf dem Meeresboden

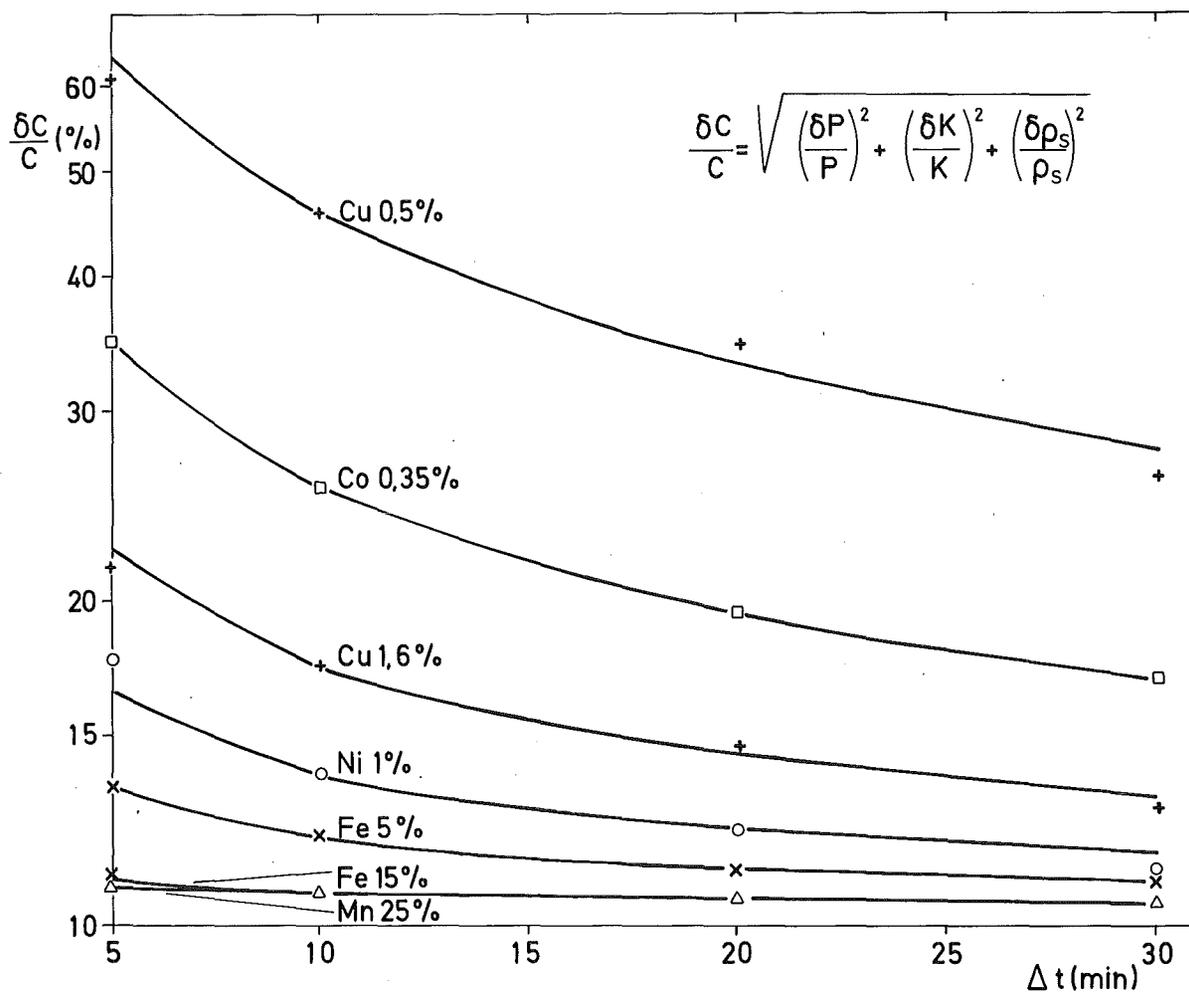


Abb. 3: Fehler in der Metallanalyse von Manganknollen in Abhängigkeit der Analysenzeit (Meßzeit)

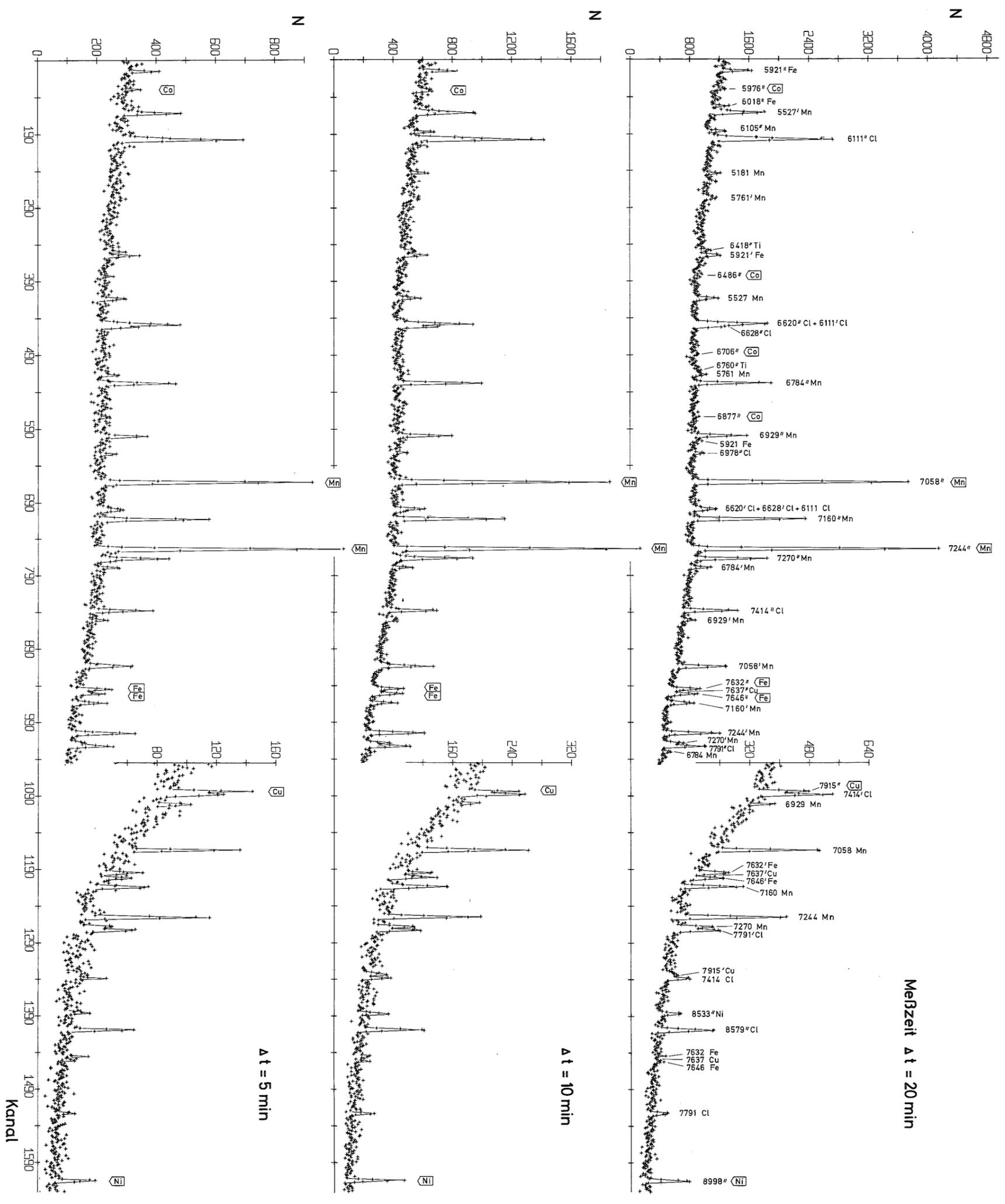


Abb. 4: Neutroneneinfang - Gamma -Spektren von Erzknollen, gemessen mit einem Ge(Li)-Detektor u. 1 mg Cf-252

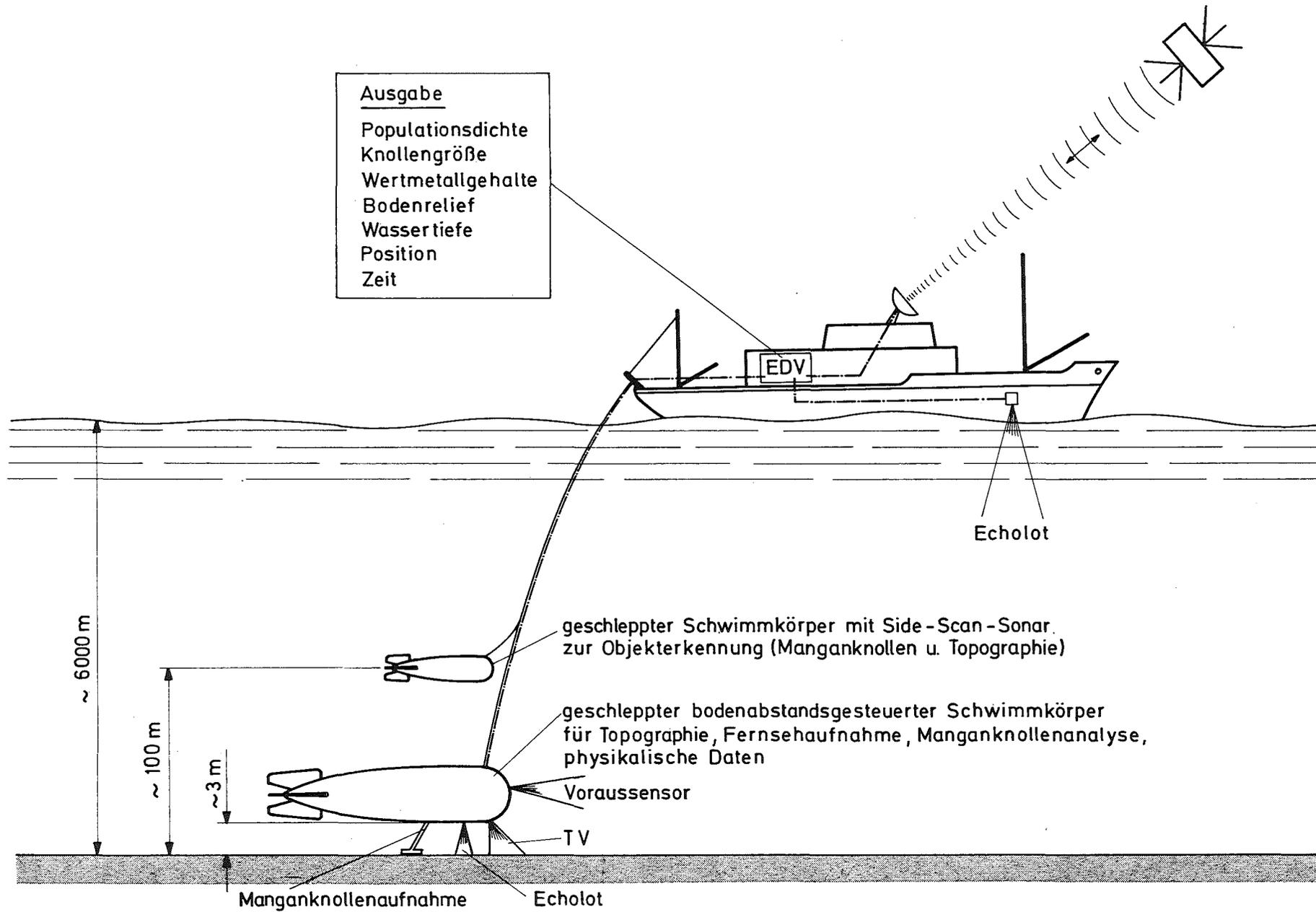


Abb. 5: Integriertes Manganknollen-Explorationssystem

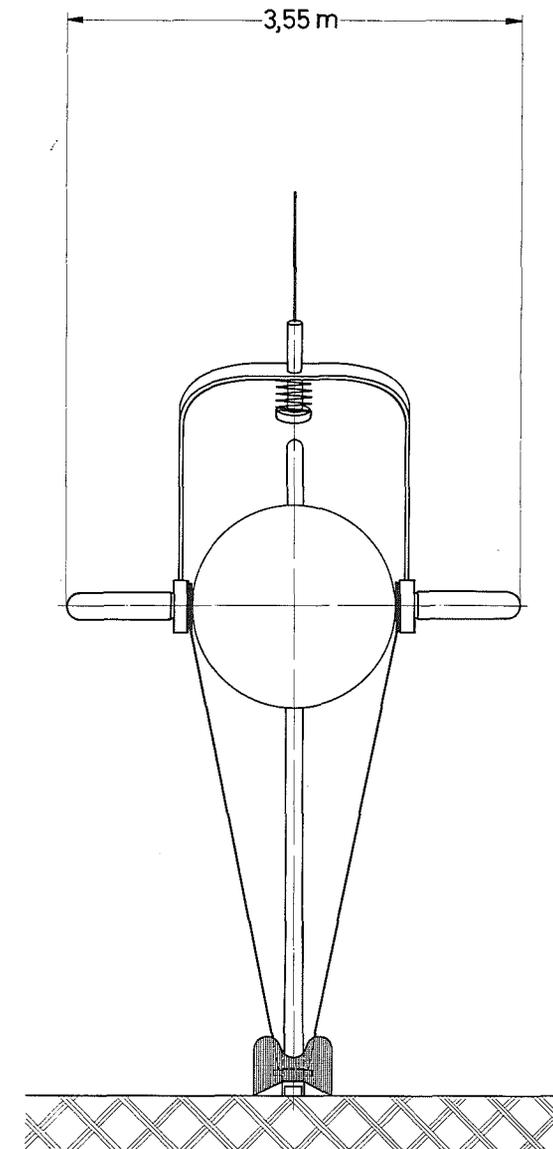
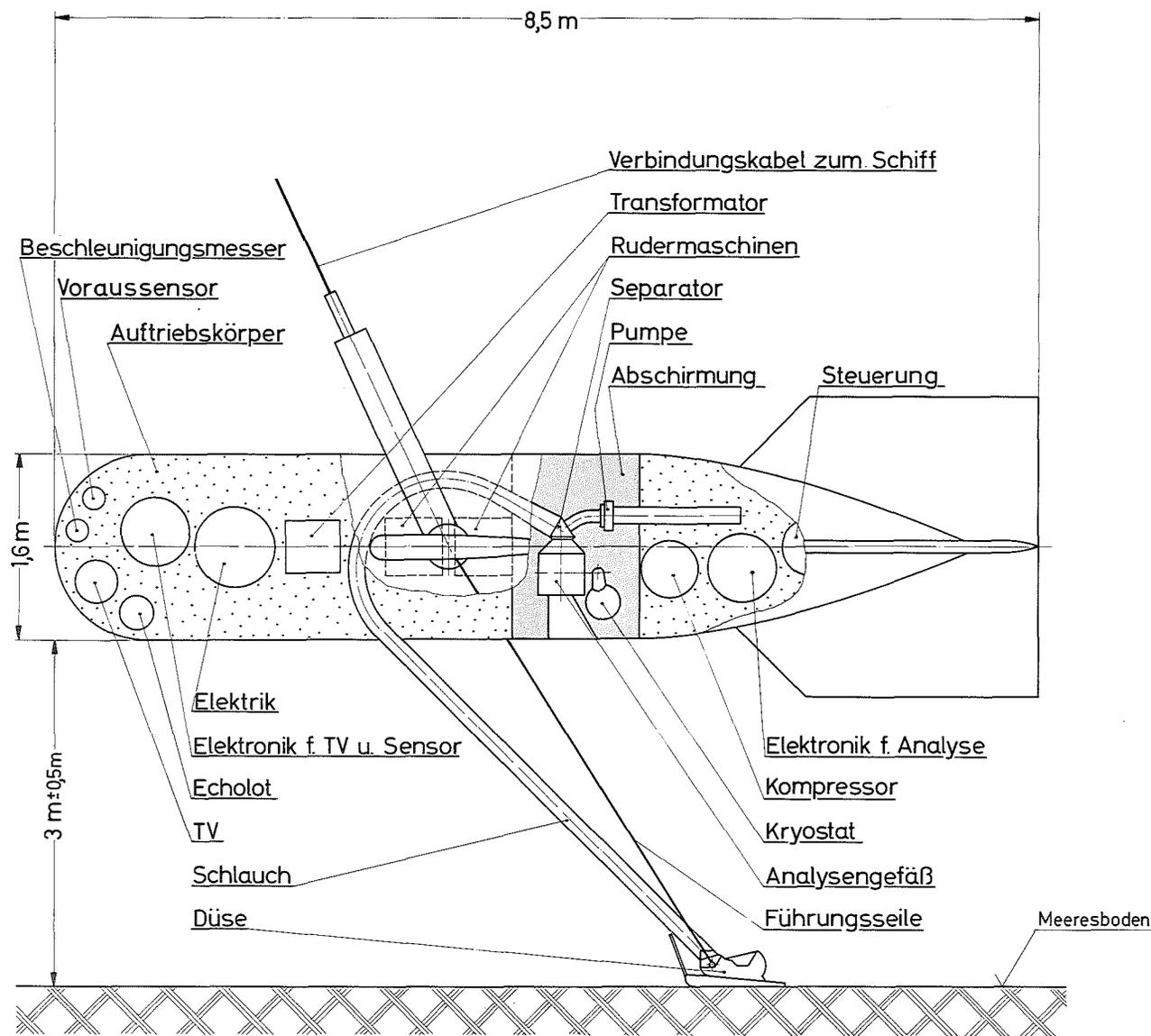


Abb. 6: Gefesselter, bodenabstandgesteuerter Geräteträger des Manganknollen-Explorationssystems

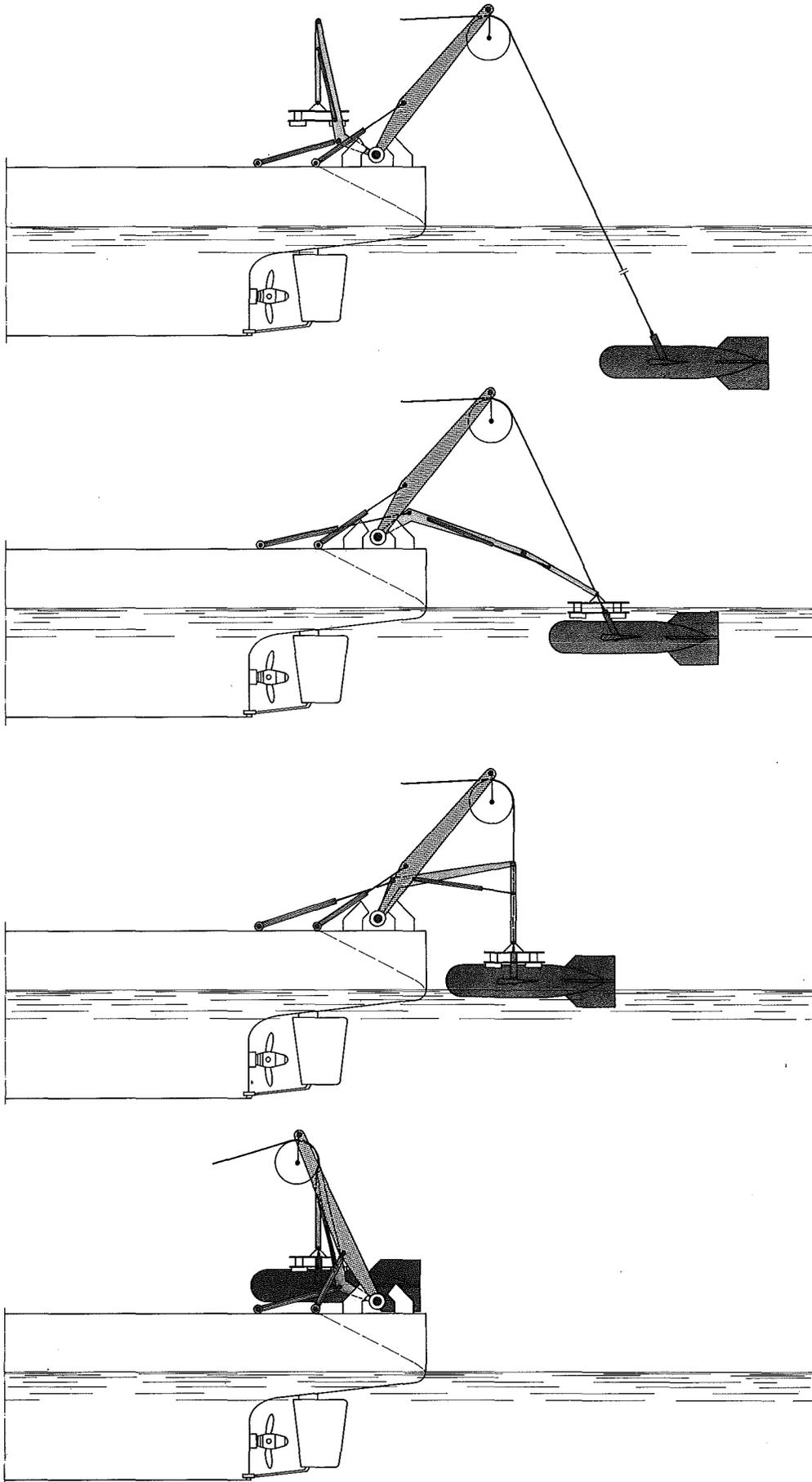


Abb. 7: Bordeinrichtung zum Handling des Geräteträgers

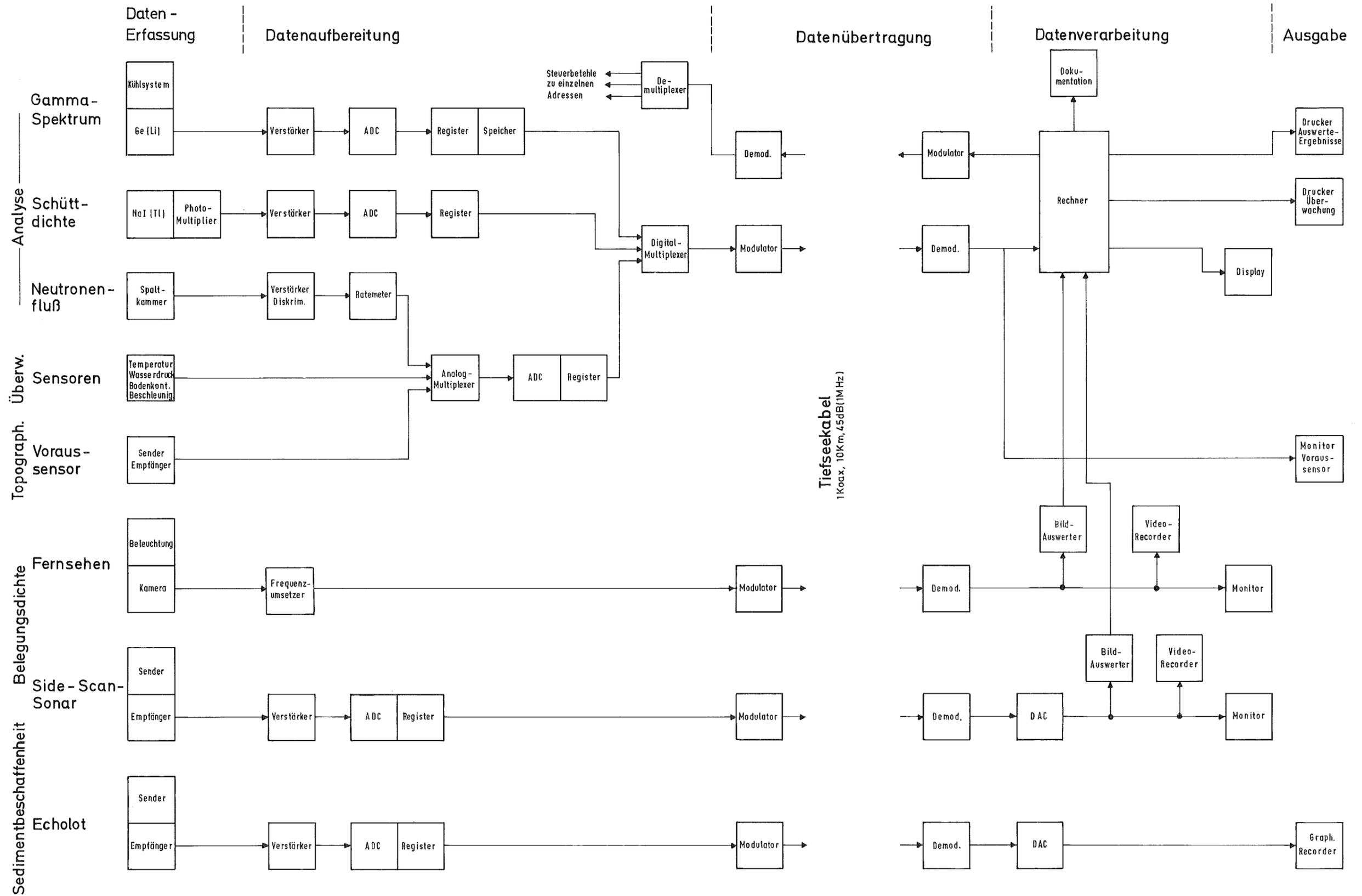


Abb. 8: Blockschaltbild der Datenerfassung, Aufbereitung, Übertragung, Verarbeitung und Ausgabe

DATUM	POSITION				GREENWICHZEIT		BELEGUNGS- DICHTE (KG/M**2)	KNOLLEN- GROESSE (CM)	WERTMETALLGEHALT										
	BREITE		LAENGE		TV	MN-KNOLLEN ANFANG			SAMPELN ENDE	MN	(GEW-%)		CO	CU					
03.07.74	20	GRD 167000	N 160	GRD 367000	W		16.50.00	16.51.06											
03.07.74	20	GRD 167050	N 160	GRD 367150	W	16.52.30			9	3									
03.07.74	20	GRD 167100	N 160	GRD 367300	W	16.55.00			10	4									
03.07.74	20	GRD 167150	N 160	GRD 367450	W	16.57.30			8	3									
03.07.74	20	GRD 167200	N 160	GRD 367600	W	17.00.00			9	3									
03.07.74	20	GRD 167250	N 160	GRD 367750	W	17.02.30			10	4									
03.07.74	20	GRD 167300	N 160	GRD 367900	W		17.05.00	17.06.08											

Abb. 9: Beispiel für die Ausgabe der Analysenergebnisse

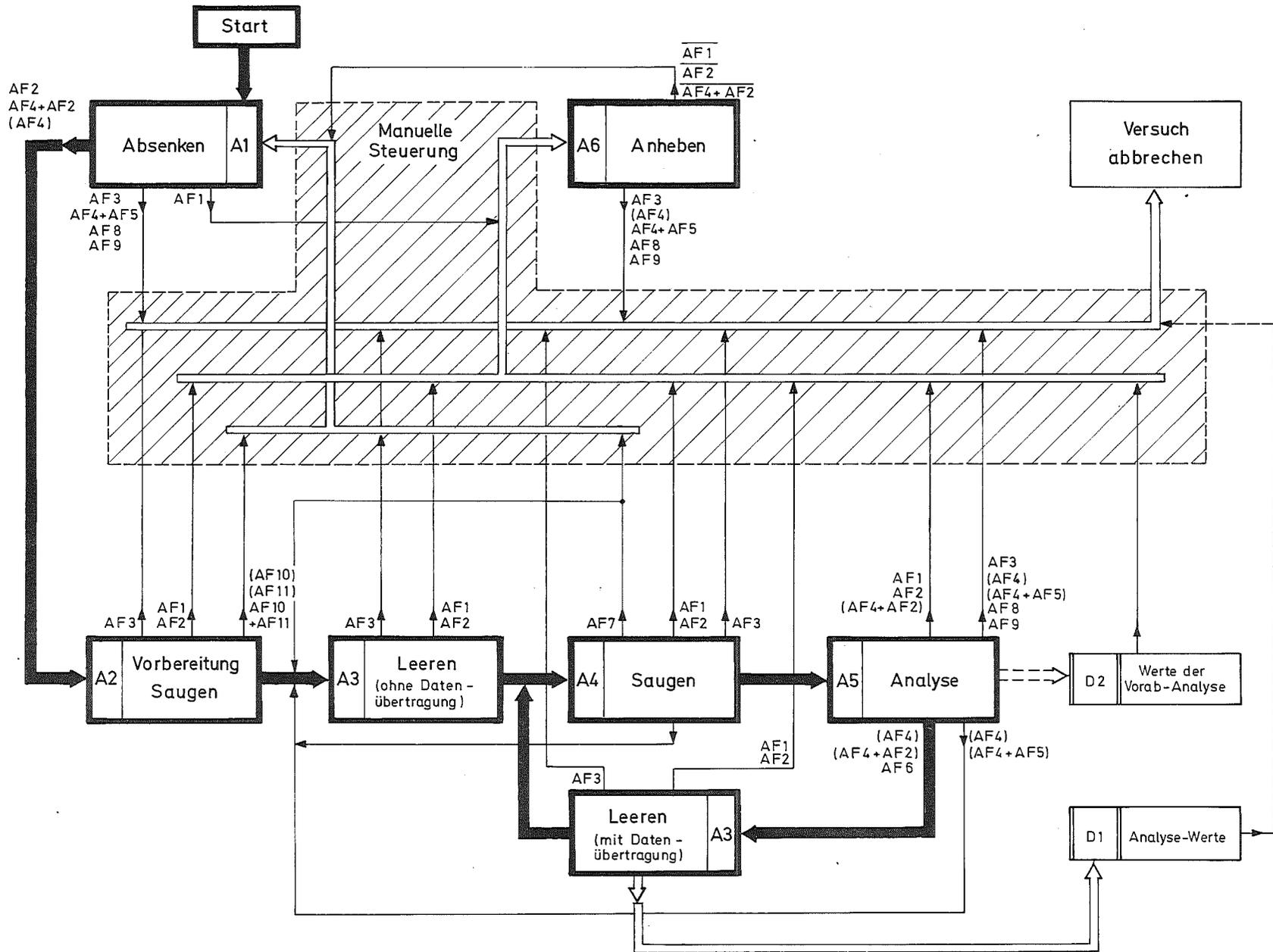


Abb. 10: Blockdiagramm für Steuer- und Kontrollprogramm

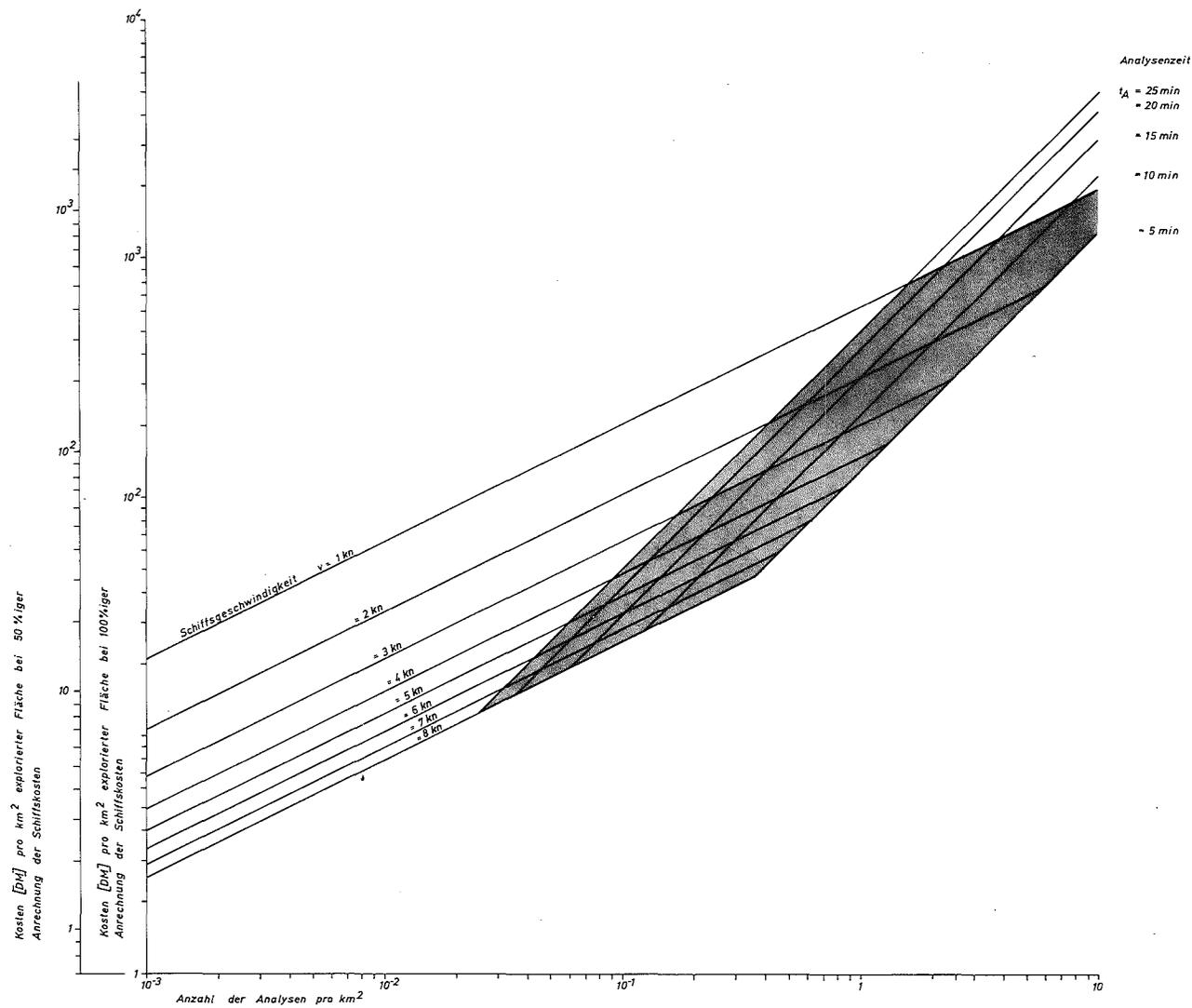


Abb. 11: Spezifische Kosten bei Anwendung des integrierten Manganknollen-Explorationssystems