

KERNFORSCHUNGSZENTRUM

KARLSRUHE

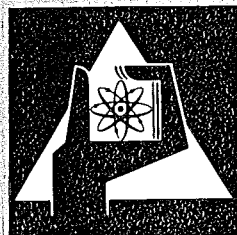
Mai 1974

KFK 1949

Reaktorbetrieb und Technik
Projekt Actiniden

**Kostenanalyse für terrestrische und marine Lagerstättenexploration
– Vergleich von konventionellen mit
kerntechnischen in-situ-Verfahren –**

A. Suppan



**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

REAKTORBETRIEB UND TECHNIK

KFK 1949
PACT 49

KOSTENANALYSE FÜR TERRESTRISCHE UND MARINE

LAGERSTÄTTENEXPLORATION

- VERGLEICH VON KONVENTIONELLEN MIT KERntechnischen IN-SITU-VERFAHREN -

A. Suppan

März 1974

Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe

Z u s a m m e n f a s s u n g

Neben konventionellen Analysenverfahren können bei terrestrischen und marinen Explorationsvorhaben kerntechnische in-situ-Analysen zu Wertmetall-Konzentrationsbestimmungen eingesetzt werden.

Zu den kerntechnischen Verfahren zählen Neutronen-Einfanggamma-Spektroskopie, Neutronen-Aktivierungsanalyse und Röntgenfluoreszenzanalyse mittels Radionukliden, deren Physik und Technik erläutert wird.

Hauptteil der technischen Ausrüstung sind die Bohrlochsonden. Während sich die vorgestellten Sonden und die dazugehörige online-Datenverarbeitung sowohl für terrestrische als auch marine Explorationsaufgaben in Schelfgebieten eignen, sind die Zusatzeinrichtungen dem Verwendungszweck angepaßt.

Für die Kostenanalyse werden die rechnerischen Voraussetzungen geschaffen. Unter Berücksichtigung verschiedener Parameter wird auf die Berechnung der Bohr-, Analysen- und daraus der Gesamtkosten eingegangen. Mit Hilfe dieses Berechnungsschemas und der angegebenen Richtwerte lassen sich erste Kostenschätzungen durchführen.

An Hand ausgewählter Beispiele wird der Umgang mit den Kostendiagrammen erläutert und der Kostenvergleich von konventionellen und kerntechnischen Analysenverfahren ermöglicht.

Die abschließende Betrachtung zeigt die vorgesehene Bohrlochsondenweiterentwicklung, durch die eine weitere Verringerung der Explorationskosten angestrebt wird.

A b s t r a c t

Cost analyses for terrestrial and marine deposits exploration
- Comparison of conventional with nuclear analytical in-situ-
methods -

In terrestrial and marine explorations conventional analytical methods can be supplemented by nuclear in situ analyses for determination of the concentrations of interesting metals.

Such nuclear methods include neutron capture gamma spectroscopy, neutron activation analysis and X-ray fluorescence analysis by means of radionuclides whose physics and technology are explained.

The most important component of the technical equipment are the well logging probes. While the probes presented and the associated on line data processing systems can be used both for terrestrial and marine exploration in shelfareas, the additional equipment is tailored to specific uses.

The preconditions for performing cost analyses are calculated. On the basis of various parameters calculation of drilling cost, analytical cost and from these the overall cost is explained. This scheme of calculation and the guide values indicated can be used for preliminary cost estimates.

The proper use of cost diagrams is explained by a few select examples which also allow a cost comparison to be made between conventional and nuclear analytical procedures.

The conclusion highlights the proposed development of well logging probes which is intended to further reduce the cost of exploration.

Inhalt	Seite
1. Überblick	1
2. Einleitung	2
3. Explorationsverfahren	2
3.1 Konventionelle Verfahren	3
3.2 Kerntechnische Verfahren	4
3.2.1 Einfanggammaskopie -NEG-	5
3.2.2 Neutronenaktivierungsanalyse -NAA-	5
3.2.3 Röntgenfluoreszenzanalyse -RFA-	6
4. Anlagen und Einrichtungen	7
4.1 Konventionelle Verfahren	7
4.1.1 Terrestrischer Einsatz	7
4.1.2 Mariner Einsatz	7
4.2 Kerntechnische Verfahren	8
4.2.1 Einfanggammaskopie	9
4.2.1.1 Terrestrischer Einsatz	9
4.2.1.2 Mariner Einsatz	10
4.2.2 Neutronenaktivierungsanalyse	10
4.2.3 Röntgenfluoreszenzanalyse	10
4.2.3.1 Terrestrischer Einsatz	10
4.2.3.2 Mariner Einsatz	11
5. Kostenanalyse für terrestrische Explorationsvorhaben	11
5.1 Annahmen und rechnerische Voraussetzungen	12
5.1.1 Gesamtkosten	12
5.1.2 Bohrkosten	12
5.1.3 Analysenkosten	12
5.2 Analysenkosten bei Anwendung konventioneller Verfahren	13
5.3 Analysenkosten bei Anwendung der NEG	13
5.4 Analysenkosten bei Anwendung der NAA	15
5.5 Analysenkosten bei Anwendung der RFA	16
6. Kostenanalyse für marine Explorationsvorhaben	17
6.1 Annahmen und rechnerische Voraussetzungen	18
6.1.1 Gesamtkosten	18
6.1.2 Bohrkosten	18
6.1.3 Analysenkosten	20

	Seite
6.2 Analysenkosten bei Anwendung konventioneller Verfahren	20
6.3 Analysenkosten bei Anwendung der NEG	20
6.4 Analysenkosten bei Anwendung der RFA	22
7. Beispiele	23
8. Schlußbetrachtung	32
9. Anhang	33

Ü b e r b l i c k

Störungsfreier Bezug von Rohstoffen und ausreichende Mengen Energie sind für den Fortbestand der Volkswirtschaft von ausschlaggebender Bedeutung. Die Sicherung beider ist Bestandteil der Programme der Bundesregierung.

Das Programm zur Sicherung der Versorgung mit mineralischen Rohstoffen sieht neben einer verstärkten Prospektions- und Explorations-tätigkeit und einer Beobachtung der in- und ausländischen Märkte auch die Entwicklung von Verfahren zur Aufbereitung sowie zur Analyse und eine entsprechende Gerätentwicklung vor.

Der Beitrag der Gesellschaft für Kernforschung in diesem Programm bezieht sich auf die Anwendung kerntechnischer Methoden für die Exploration, deren gezielte Weiterentwicklung und die Bereitstellung von Geräten zur schnellen kostengünstigen Analyse von Lagerstätten.

2. Einleitung

Zur Beurteilung der Abbauwürdigkeit einer Lagerstätte ist eine wirtschaftsgeologische Lagerstättenbewertung erforderlich, in der geologische und technologische Faktoren, Faktoren des Abbaus und Faktoren, die durch den Markt bestimmt werden, zu berücksichtigen sind. Sie läßt sich zeitlich in 4 Phasen gliedern [1,2].

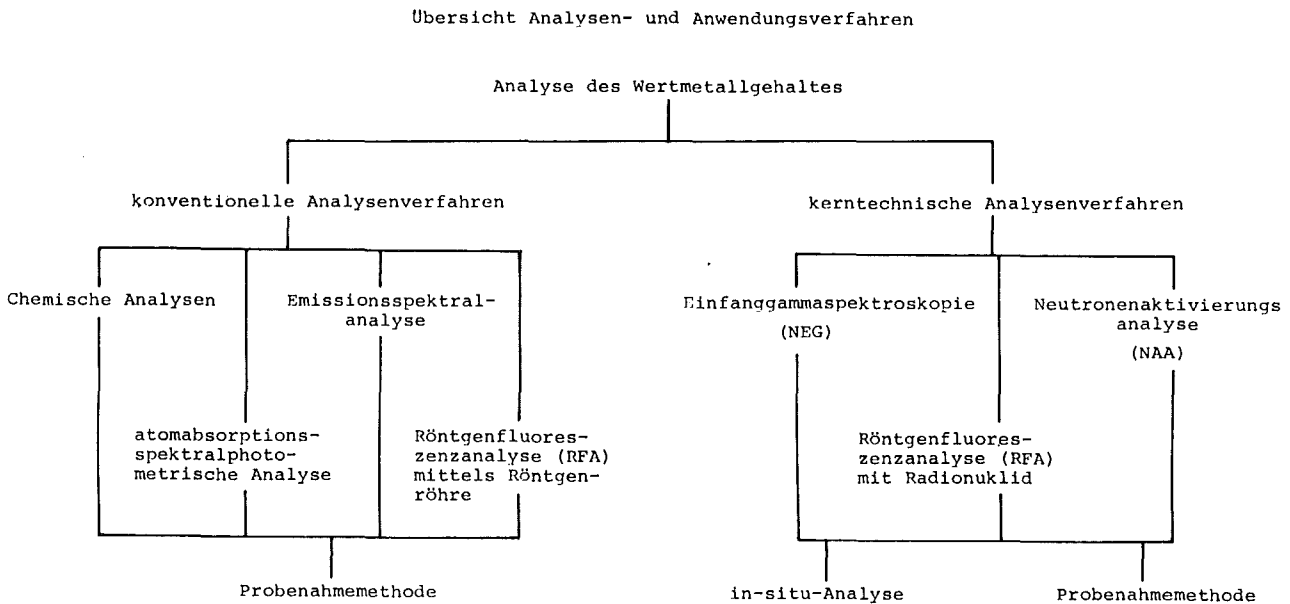
- Während einer Übersichtsbegehung bzw. Vorstudie können bereits Fragen der Mineralzusammensetzung, Anreicherung, Herkunft, Ausdehnung der Lagerstätte, Oberflächenverhältnisse und der Infrastruktur geklärt werden.
- Bei der Prospektion werden nach einem gezielten Bohrprogramm Proben gewonnen und durch deren Analyse Ausmaß, Gehalt und Abgrenzung abbauwürdiger Lagerstätten bestimmt.
- In der Phase der Exploration werden die Prospektionsergebnisse durch eine Verdichtung des Bohrnetzes und Verkleinerung der Meßpunktstände in den Bohrungen verbessert.
- Die Wirtschaftlichkeitsberechnung einer Lagerstätte fußt auf den Ergebnissen der Phasen 1 bis 3, sowie marktwirtschaftlichen und politischen Studien.

Im vorliegenden Bericht wird nur auf die Lagerstättenexploration im terrestrischen und marinen Schelfbereich und im besonderen auf deren Kostenanalyse eingegangen.

3. Explorationsverfahren

Der Gehalt an nutzbaren Komponenten und die Ausmaße der wertmetallführenden Schichten sind für die Abbauwürdigkeit einer Lagerstätte mitentscheidend und können durch Wertmetallanalysen nach konventionellen oder kerntechnischen Verfahren bestimmt werden. Bei konventionellen Verfahren werden die Analysen an Hand der aus Bohrkernen gewonnenen Bodenproben durchgeführt, bei kerntechnischen Verfahren meist mittels Bohrlochsonden, die in das Bohrloch abgesenkt in-situ-Analysen ermöglichen [3].

Die folgende Übersicht zeigt eine Zusammenfassung von Analyseverfahren und Methoden für deren Einsatz zur Bestimmung des Wertmetallgehaltes.



Im folgenden werden konventionelle Analyseverfahren nach der Probenahmemethode und kerntechnische in-situ-Analysen kostenmäßig betrachtet; die Kostenanalyse kerntechnischer Verfahren nach der Probenahmemethode wird in einem weiteren Bericht veröffentlicht.

3.1 Konventionelle Verfahren

Die Exploration unter Anwendung konventioneller Analyseverfahren läßt sich in zwei Arbeitsgänge gliedern:

- der Bohrkerngewinnung mittels Kernbohrgeräten im terrestrischen und marinen Bereich oder mittels Loten, Dredges, Vibrohammerkerngeräten bei marinen Lagerstätten und
- der Analyse der so gewonnenen Bohrkernkerne.

Vor der Analyse der Bohrkernkerne, die ca. 40 - 100 mm im Durchmesser und bis zu 10 m lang sind, müssen diese aufbereitet werden. Hierzu werden die Kerne durch zentrische Axialschnitte geteilt. Nach visueller Bestimmung der wertmetallführenden Schichten werden durch einen Geologen oder Mineralogen die Probenlängen festgelegt und die Kerne durch Radialschnitte weitergeteilt. Die so gewonnenen Proben werden gemahlen und homogenisiert, so daß bereits durch die Analyse eines Probenteiles der mittlere Wertmetallgehalt des der Probenlänge entsprechenden Kernes bestimmt ist.

Die Analysen können nach mehreren einander gleichwertigen Verfahren durchgeführt werden, z.B. als chemische Analyse, Röntgenfluoreszenzanalyse mit Röntgenröhre, atomabsorptionsspektralphotometrische- oder Emissionsspektralanalyse. Die Wahl des Verfahrens ist proben- bzw. elementabhängig.

Aufbereitung und Probenanalyse können bei Benutzung eines Laborcontainers vor Ort oder auch im chemischen Labor vorgenommen werden. Der Vorteil der vor-Ort-Analyse, besonders bei der marinen Lagerstättenexploration, liegt in der schnellen Verfügbarkeit repräsentativer Meßergebnisse, ein Nachteil sind die erhöhten Analysenkosten, die sich durch die Anlagekosten eines Zweitlabors und die höheren Personalkosten ergeben.

3.2 Kerntechnische Verfahren

Das Anwendungsgebiet kerntechnischer Verfahren ist die Exploration und dabei vor allem die in-situ-Analyse. Hierbei sind je nach Verfahren unterschiedliche Meßanordnungen als zylindrische Sonden ausgebildet, die in Bohrlöchern abgesenkt, physikalische Eigenschaften des Umgebungsmaterials messen und über Kabel an den vor Ort befindlichen Analysator mit Rechner und Ausgabegerät übertragen.

3.2.1 Einfanggamma-spektroskopie - NEG -

Bei der Neutroneneinfanggamma-Spektroskopie (NEG) werden die Atomkerne der nachzuweisenden Elemente mit Neutronen bestrahlt, d.h., beim Einfang eines Neutrons wird ein neues Isotop gebildet, wobei die Bindungsenergie des Neutrons an den Kern als Gammastrahlung emittiert wird. Die Energien dieser Gammastrahlung sind nuklid-spezifisch und können daher als Elementindikatoren benutzt werden.

Bei der in-situ-Analyse werden Neutronenquellen, z.B. Californium-252, in Bohrlöchern oder anders gestalteten Kanälen in das Proben-gut eingeführt. Die Neutronen breiten sich dort isotrop aus und werden schließlich unter Emission der charakteristischen Gammastrahlung absorbiert. Der Nachweis erfolgt mittels Detektoren ebenfalls im Proben-gut. Der Energiebereich der Gammastrahlung ist sehr groß (bis 11 MeV). Der Bereich zwischen 4 und 11 MeV ist wegen der geringen Störungen, der kleinen Absorptionseffekte und damit eines großen an der Analyse beteiligten Proben-volumens besonders interessant. Bei der NEG stam-men 90% der Detektor-Zählrate aus einem Kugelvolumen von ca. 65 l, entsprechend einem Kugeldurchmesser von 50 cm, so daß dieses Volumen als Proben-volumen bezeichnet werden kann. Die Konzentrationen der nachzuweisenden Elemente werden aus den Meßwerten unter Berücksichti-gung notwendiger Parameter errechnet.

Bei einer Reihe von Elementen sind die Energien der charakteristi-schen Gammastrahlung < 4 MeV, so daß sich nicht alle Elemente gleicher-maßen zur Bestimmung durch die Einfanggamma-spektroskopie eignen [4].

3.2.2 Neutronenaktivierungsanalyse - NAA -

Bei der Neutronenaktivierungsanalyse (NAA) werden aus Atomkernen der nachzuweisenden Elemente mittels Neutronen Radioisotope erzeugt. Die-se zerfallen mit einer ihnen charakteristischen Halbwertszeit. Dabei wird neben der β -Strahlung häufig auch Gammastrahlung emittiert. Die Energien dieser Gammastrahlung sind elementspezifisch und können da-her als Elementindikator benutzt werden.

Bei der in-situ-Analyse werden Neutronenquellen, z.B. Californium-252, in Bohrlöchern oder anders gestalteten Kanälen in das Probengut eingeführt. Die Neutronen breiten sich dort isotrop aus und werden schließlich unter Emission der prompten Gammastrahlung (vergl. NEG) absorbiert. Der Nachweis der den Zerfall der Radioisotope begleitenden charakteristischen Gammastrahlung erfolgt ebenfalls im Probengut. Im Unterschied zur NEG sind die Bestrahlung mit Neutronen (Aktivieren) und der Nachweis der Gammastrahlung (Analysieren) zeitlich getrennt. Dabei können mit der Anpassung des Zyklus Aktivieren-Analysieren an die Halbwertszeiten der zu bildenden Radioisotope evtl. störende Radioisotope ausgeschlossen werden. Der Energiebereich der Gammastrahlung ist relativ klein. Absorptionsvorgänge fallen stärker ins Gewicht als bei der NEG, was bedeutet, daß die an der Analyse beteiligten Probenvolumina geringer sind (ca. 2 - 14 l, entsprechend einem Kugeldurchmesser von 15 bis 30 cm). Die Konzentrationen der nachzuweisenden Elemente werden aus den Meßwerten unter Berücksichtigung notwendiger Parameter errechnet.

3.2.3 Röntgenfluoreszenzanalyse - RFA -

Bei der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) werden mit Strahlung vornehmlich aus Röntgenröhren oder Radionukliden Elektronen aus der Atomhülle "herausgeschlagen". Dieser Zustand der Hülle ist instabil. Die Lücken werden daher unter Emission von Röntgenstrahlung wieder besetzt. Die Energien dieser Röntgenstrahlung sind elementspezifisch und können daher als Elementindikatoren benutzt werden.

Für in-situ-Analysen eignen sich Radionuklide als Anregungsstrahlenquellen besonders gut. Solche Quellen werden in entsprechenden Sonden in das Probengut, z.B. in Bohrlöchern eingebracht. Die Gammastrahlen regen die Atome des Probenmaterials zu ihrer jeweils charakteristischen Röntgenstrahlung an. Der Nachweis dieser Strahlung erfolgt über einen in der Sonde eingebauten Detektor. Zur Erzielung einer genügenden Intensität muß die Energie der anregenden Strahlung dem Meßproblem angepaßt werden. Die Energie der Röntgenstrahlung ist vergleichsweise gering (bis ca. 80 keV), was bedeutet, daß sich die Analyse infolge von Absorptionsvorgängen auf einen begrenzten Wandbereich der Bohrlöcher beschränkt. Der Strahlungsnachweis bezieht sich somit auf einen

Ringraum um die Bohrlochsonde mit einer Wandstärke von maximal 2 cm und einer Länge, die von der Vorschubgeschwindigkeit der Bohrlochsonde und der Rechenzeit der Auswerteelektronik abhängt. Die Konzentrationen der nachzuweisenden Elemente werden aus den Meßwerten unter Berücksichtigung notwendiger Parameter errechnet.

4. Anlagen und Einrichtungen

In Abhängigkeit vom Einsatzgebiet ist die Aufgabenstellung für die Explorationsfirmen verschieden. So können Bohrarbeiten in eigener Regie durchgeführt oder an spezielle Bohrfirmen vergeben werden, desgleichen die analytischen Untersuchungen von Bodenproben bei Anwendung konventioneller Analysenverfahren.

4.1 Konventionelle Verfahren

4.1.1 Terrestrischer Einsatz

Bohrarbeiten zur Kerngewinnung werden auf Grund von Ausschreibungen und Angeboten an Bohrfirmen vergeben. Die von diesen Bohrfirmen gewonnenen Kerne werden in Kernkästen verpackt, beschriftet, ins Labor transportiert, dort geteilt, teils archiviert und teils für mikroskopische, technologische und analytische Untersuchungen aufbereitet. Die Analyse der Proben erfolgt im Labor.

4.1.2 Mariner Einsatz

Anders als beim terrestrischen Einsatz sind es hier die Explorationsfirmen, die mit eigenen oder gecharterten Schiffen selbst die Kernbohrungen durchführen. Je nach erforderlicher Eindringtiefe kommen zur Kerngewinnung Kasten- und Kolbenlote, Vibrogeräte und Bohrgeräte zum Einsatz. Die Aufbereitung der Kerne erfolgt teils an Bord, teils an Land. Um Ausrüstungs- und Personalkosten in Grenzen zu halten, wird für die folgende Kostenanalyse angenommen, daß der größte Teil der Analysen an Land durchgeführt wird.

4.2 Kerntechnische Verfahren

Beim Einsatz kerntechnischer Verfahren in der terrestrischen Exploration kann meist davon ausgegangen werden, daß das Gestein des Explorationsgebietes standfest genug ist, um Veränderungen des Bohrloches nach dem Ziehen des Bohrgestänges nicht befürchten zu müssen. Bohren und Analysieren mittels Bohrlochsonde (BLS) sind vollkommen unabhängig voneinander.

Erste praxisnahe Versuche wurden im Scheelitvorkommen Mittersill durchgeführt [4,5]. Unter Berücksichtigung der hierbei gewonnenen Erfahrungen wurden die im folgenden aufgeführten Geräte und Anlagen nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten für den kommerziellen Einsatz entwickelt.

Bei der marinen Exploration unter Anwendung kerntechnischer Verfahren kann die BLS wegen der geringen Standfestigkeit der Bohrungen nur in verrohrten Bohrlöchern eingesetzt werden oder sie wird zweckmäßigerweise direkt in das Bohrgestänge abgesenkt. In diesem Fall kann der Bohrer getrennt vom Bohrgestänge gezogen werden, so daß die BLS anschließend über Bohrlochmitte geschwenkt und in das Gestänge abgesenkt werden kann. Beim Ziehen des Bohrgestänges schiebt sich die BLS teleskopartig aus dem Bohrgestänge und ragt damit direkt in das zu analysierende Material. Die Messungen bleiben dadurch vom Bohrgestängewerkstoff unbeeinflusst. Dies gilt sowohl für die NEG als auch RFA. Die NAA wurde jedoch nicht in die Kostenanalyse aufgenommen. Sie hat beim marinen Einsatz vor allem dann Nachteile, wenn mit Abklingzeiten im Stundenbereich gerechnet werden muß. Damit die Bohranlage während dieser Zeit bereits anderweitig eingesetzt werden kann, müßte das Bohrloch verrohrt werden.

Die Bohrlochsonden, unabhängig vom angewandten kerntechnischen Verfahren, werden in Modulbauweise ausgeführt. Alle Sondenteile, wie Quelle, Detektor, Caliberlog, Sondenelektronik usw. sind als zylindrische Einheiten gleichen Durchmessers (vorzugsweise 100 mm) gebaut und können in beliebiger Zusammenstellung aneinandergesekelt werden.

4.2.1 Einfanggammaskopie

Die Anlage zur NEG besteht in ihren Hauptteilen aus der Bohrlochsonde, der verschiedenen kombinierbaren Multisonde, dem Elektronik-Container mit der Auswerteelektronik, Abschirmbehälter und den in den Tabellen 1 und 2 weiter aufgeführten Anlagenteilen, die für den marinen und terrestrischen Einsatz unterschiedlich sind.

Bei der NEG sind das Aktivieren der Matrix mittels Neutronenquelle und das Messen der γ -Strahlung mittels Ge(Li)-Detektor in einer Bohrlochsonde vereinigt. Zur Kühlung des Detektors, dessen Arbeitstemperatur bei -180°C liegt, ist die Sonde mit einem Kühlaggregat ausgestattet. Eine weitere Möglichkeit der Kühlung wäre ein C_3H_8 -Schmelz-Kryostat, wobei das Propan alle 8 Stunden in einer LN_2 -Rückkühlanlage auf Arbeitstemperatur zurückgekühlt werden müßte. Wegen der vereinfachten Handhabung der BLS mit Kühlaggregat wird nur diese in der Kostenanalyse berücksichtigt.

Zur Ermittlung der Wertmetallkonzentrationen sind dem Rechner außer den Daten der gemessenen Gammastrahlung, die über Kabel von der BLS übertragen werden, noch Bohrdurchmesser, Matrixdichte und -feuchte, sowie der Neutronenfluß einzugeben. Die Werte werden in zwei weiteren Meßgängen durch die Multisonde ermittelt und zwar beim 1. Meßgang: Durchmesser, Dichte und Feuchte, beim zweiten Neutronenfluß.

Die Neutronenquelle wird wegen ihrer intensiven Strahlung fernbedient gehandhabt. Für den Transport befindet sie sich in einem Abschirmbehälter.

4.2.1.1 Terrestrischer Einsatz

Für den wirtschaftlichen Einsatz der BLS werden die vorgenannten Hauptbestandteile der Anlage durch weitere Geräte ergänzt, die speziell für den terrestrischen Bereich erforderlich sind, wie z.B. Fördergerät, Geräte-Container, Raupe, Unimog usw.

4.2.1.2 Mariner Einsatz

Anders als bei terrestrischen sind bei marinen Lagerstätten Dichte, Feuchte und Neutronenfluß über die ganze Bohrlänge annähernd gleich, so daß eine einmalige Messung an einer beliebigen Meßposition des Bohrloches repräsentativ für die ganze Bohrung ist und wegen ihres geringen zeitlichen Einflusses kostenmäßig unberücksichtigt bleiben kann.

4.2.2 Neutronenaktivierungsanalyse

Für die NAA stehen zwei Systeme zur Verfügung, die sich durch den Detektor unterscheiden. Die BLS mit dem NaJ-Detektor, deren Aufbaukosten günstiger sind, die aber nur dort angewendet werden kann, wo sich die Energie und Häufigkeit der emittierten γ -Quanten interessanter Metalle deutlich von den anderen abhebt. Der Ge(Li)-Detektor hat eine größere Empfindlichkeit und ist dadurch universeller anwendbar. Die NAA kann in drei Abschnitte unterteilt werden: die Aktivierungs-, Abkling- und Meßzeit. Wie bei der NEG sind jedoch auch hierbei noch Durchmesser, Dichte, Feuchte und Neutronenfluß zur Wertmetallkonzentrationsbestimmung erforderlich. Die hierfür erforderlichen Meßeinrichtungen können wegen der dazu erforderlichen Bohrlochsondenlänge nicht in einer BLS vereinigt werden. Daher werden je nach Dauer der Abklingzeit folgende zwei Varianten eingesetzt

- bei kurzen Abklingzeiten (Abklingzeit kleiner als Aktivierungs- plus Meßzeit) ist Aktivieren und Messen in einer Sonde vereinigt. Die übrigen zur Konzentrationsbestimmung erforderlichen Werte, wie Durchmesser, Dichte, Feuchte und Neutronenfluß werden in zwei weiteren Meßgängen mit Multisonden bestimmt
- bei längeren Abklingzeiten wird mit der ersten Sondenordnung aktiviert und der Neutronenfluß bestimmt, mit der zweiten Anordnung analysiert, Durchmesser, Dichte und Feuchte bestimmt.

4.2.3 Röntgenfluoreszenzanalyse

4.2.3.1 Terrestrischer Einsatz

Die bei der RFA geforderten Rechenraten können mit einer Sonde er-

mittelt werden, die aus BLS-Mechanik, Quelle, Detektor, Sonden-elektronik, Dichte-Log und Kühlaggregat besteht.

Für die Sonden kommen zwei verschiedene Detektoren infrage. Ihr Einsatz ist elementabhängig. Der Si(Li)-Detektor mit einer Arbeitstemperatur von -30°C eignet sich für Elemente mit einer Röntgenstrahlung von 7 keV bis 30 keV, wie Pb, W und Baryt. Für Elemente, deren Röntgenstrahlung kleiner als 7 keV ist, wird ein Si(Li)-Detektor bei einer Arbeitstemperatur von -180°C eingesetzt. Die Sonde ist in diesem Fall mit Dünnschichten ausgestattet.

4.2.3.2 Mariner Einsatz

Meßanordnung und Bohrlochsonden entsprechen denen beim terrestrischen Einsatz. Die Einrichtungen für dieses Verfahren unterscheiden sich nur in den Transportmitteln.

5. Kostenanalyse für terrestrische Explorationsvorhaben

Die bei der Exploration anfallenden Kosten sind nicht nur verfahrensabhängig. Geologie, Oberflächenverhältnisse, Lagerstättentyp usw. beeinflussen gleichermaßen die Explorationskosten. Da sich diese Parameter jedoch auf alle Verfahren gleichermaßen auswirken, können sie rechnerisch in der Kostenanalyse und dem -vergleich der einzelnen Verfahren durch ungefähre Anhaltswerte berücksichtigt werden. Die Kostenanalyse kann somit zwar ohne genaue Lagerstättenkenntnisse keine Absolutwerte liefern, aber die Relation zwischen den Verfahren aufzeigen.

Gleichzeitig kann die folgende Kostenanalyse als Schema dazu dienen, die tatsächlichen Explorationskosten zu ermitteln, wenn für eine bestimmte Lagerstättenerkundung, die den örtlichen Gegebenheiten entsprechenden Zahlenwerte eingesetzt werden, z.B. die effektiven Bohrkosten, die dem Erzgehalt nach erforderliche Meßgenauigkeit usw.

5.1 Annahmen und rechnerische Voraussetzungen

Als Vergleichswert für die Kostenanalyse werden die Kosten je vermessener Bohrung ermittelt.

5.1.1 Gesamtkosten

Die Gesamtkosten je Bohrung setzen sich aus den Bohr- und Analysenkosten zusammen:

$$K_G = K_B + K_A \quad (1)$$

5.1.2 Bohrkosten

Die Bohrkosten sind vom Bohrverfahren, dem Bohrdurchmesser, der Bodenklassifizierung und der Bohrtiefe abhängig. Sie lassen sich mit dem Diagramm 1 ermitteln.

$$K_B = k_B \cdot Bt_g \quad (2)$$

Unter k_B versteht man die spezifischen Bohrkosten, die sich auf einen Meter der laufenden Bohrung beziehen.

Bt_g ist die Gesamtbohrtiefe. Sie wird auf Grund der Prospektionsbohrungen, mit deren Hilfe bereits Erkenntnisse über die Lagerstätte gewonnen wurden, festgelegt und ist ca. 15 m tiefer als die unterste wertmetallführende Lagerstättenschicht. Die Gesamtbohrtiefe ist kein Absolutmaß, sondern hängt vom Lagerstättentypus ab.

5.1.3 Analysenkosten

Sie ergeben sich aus der Analysenzeit (T_A) je Probe, der zu vermessenden Bohrtiefe (Bt_v), der Anzahl der Meßpunkte (z) pro m Bt_v und den spezifischen Analysenkosten (k_A)

$$K_A = T_A \cdot Bt_v \cdot z \cdot k_A \quad (3)$$

Die vermessene Bohrtiefe Bt_v entspricht der wertmetallführenden Schichtdicke plus einer entsprechenden Zugabe, die lagerstättenabhängig ist, im Schnitt aber bei ca. 2 m liegt.

Die Anzahl der Meßpunkte pro m Bt_v ist verfahrensabhängig und wird zumeist innerhalb der folgenden Grenzwerte liegen

- 0,5 bis 2 bei konventionellen Analysenverfahren
- 2 bis 3 bei der NEG
- 3 bis 5 bei der NAA
- 1 bis 6 bei der RFA

5.2 Analysenkosten bei Anwendung konventioneller Verfahren

Zur Ermittlung der Analysenkosten K_A wird das Produkt T_A · k_A in Formel (3) durch k_{A1} ersetzt, so daß

$$K_A = Bt_v \cdot z \cdot k_{A1} \quad (4)$$

wird. k_{A1} (DM/A) enthält neben den Analysenkosten je Probe die Kosten für die Aufbereitung des Kernes durch Trennen und Mahlen der Probe.

$$k_{A1} = n \cdot k_{EA} + k_T + k_M \quad (5)$$

In den folgenden Berechnungen werden für die einzelnen Kostenarten Durchschnittswerte eingesetzt, die sich aus einschlägiger Literatur und Angeboten ergeben.

Bei einer Mindestmenge von 100 Proben betragen die spezifischen Analysenkosten (k_{EA}) ca. 60.-- DM (Angebotswert); die Kosten für das Trennen von Kernen (k_T): 2.-- bis 15.-- DM; für das Mahlen der Proben (k_M): 5.-- bis 25.-- DM. [6]

5.3 Analysenkosten bei Anwendung der NEG

Wie unter 3.2.1 beschrieben erfolgt bei der NEG die Analyse in drei Schritten. Die Analysenkosten errechnen sich daher (siehe Diagramm 2)

$$K_A = (t_A + t_p + t_\phi) \cdot z \cdot Bt_v \cdot k_A \quad (6)$$

Die Zeit zur Dichtemessung (t_p) liegt zwischen 1 und 5 Minuten, die Zeit zur Neutronenflußmessung (t_φ) zwischen 5 und 10 Minuten.

Die spezifischen Analysenkosten ergeben sich aus

$$k_A = \frac{(\sum K_{j.Anl} + \sum K_{Wart} + K_{Pers}) \cdot 100}{p_v \cdot 365 \cdot 8.60} \quad (7)$$

Die jährlichen Abschreibungs- und Instandhaltungskosten können der Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Jährliche Abschreibungs- und Instandhaltungskosten der Systemkomponenten
(terrestrische Explorationsvorhaben)

Bezeichnung	NEG bzw. NAA mit Ge(Li)-Detektor				RFA mittels Si(Li)-Detektor Arbeitstemp. -30°C				RFA mittels Si(Li)-Detektor Arbeitstemp. -180°C				NAA mit NaJ-Detektor			
	K _{Anl} (TDM)	t _{Abschr} (a)	K _{j.Anl} (TDM)	K _{Wart} (TDM)	K _{Anl} (TDM)	t _{Abschr} (a)	K _{j.Anl} (TDM)	K _{Wart} (TDM)	K _{Anl} (TDM)	t _{Abschr} (a)	K _{j.Anl} (TDM)	K _{Wart} (TDM)	K _{Anl} (TDM)	t _{Abschr} (a)	K _{j.Anl} (TDM)	K _{Wart} (TDM)
Bohrlochsonde bestehend aus:																
Quelle	35	3	11,7	-	1	1	1,0	-	1	1	1,0	-	35	3	11,7	-
Detektor	30	1,5	20,0	-	36	1,5	24,0	-	36	1,5	24,0	-	10	1,5	7,0	-
Kühlaggregat	35	5	7,0	-	-	-	-	-	35	5	7,0	-	-	-	-	-
Sondenelektronik	20	5	4,0	1,0	16	5	3,2	0,8	16	5	3,2	0,8	20	5	4,0	1,0
Kabel	2	0,5	4,0	-	2	0,5	4,0	-	2	0,5	4,0	-	2	0,5	4,0	-
Bohrlochsondenmechanik	37	5	7,4	1,8	12	5	2,4	0,6	29	5	5,9	1,4	25	5	5,0	1,2
Multisonde bestehend aus:																
Caliberlog	18	5	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	5	3,6	-
Dichte-Feuchte-Log	7	5	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	5	1,4	-
Sondenelektronik	5	5	1,0	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	1,0	0,2
Auswertelektronik	144	5	28,8	7,2	182	5	36,4	9,1	182	5	36,4	9,1	144	5	28,8	7,2
Abschirmbehälter	25	10	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	10	2,5	-
Fördergerät	26	5	5,2	-	26	5	5,2	-	26	5	5,2	-	26	5	5,2	-
Elektronik-Container	64	10	6,4	-	64	10	6,4	-	64	10	6,4	-	64	10	6,4	-
Geräte-Container	31	10	3,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	10	3,1	-
20'-Palette	15	10	1,5	-	15	10	1,5	-	15	10	1,5	-	15	10	1,5	-
Raupe	32	5	6,4	3,2	32	5	6,4	3,2	32	5	6,4	3,2	32	5	6,4	3,2
Unimog	54	5	10,8	5,4	54	5	10,8	5,4	54	5	10,8	5,4	54	5	10,8	5,4
Hänger f. Unimog	14	10	1,4	-	14	10	1,4	-	14	10	1,4	-	14	10	1,4	-
Σ (TDM)	-	-	126,2	18,8	-	-	102,7	19,1	-	-	113,2	19,9	-	-	103,8	18,2

Die prozentuale Verfügbarkeit des Systems (p_V) wird mit ca. 51% errechnet, hierzu wurden folgende Annahmen getroffen: 220 Arbeitstage pro Jahr, abzüglich 30 d für Überholung und sonstige Stillstandszeiten, und 6 d für Anreisezeit. In den Stillstandszeiten sind die Zeiten für das Umsetzen von einem Meßpunkt zum anderen mitenthalten.

Der Arbeitstag wird mit 8 Stunden eingesetzt. Sollte im besonderen Fall mit Schichtbetrieb gerechnet werden, so sind entsprechend 16 oder 24 Stunden einzusetzen.

Nach Formel (7) lassen sich die spezifischen Analysenkosten in Tabellenform zusammenfassen

Tabelle 3

$\Sigma K_{j.Anl.}$	126.200
$\Sigma K_{Wart.}$	18.800
$K_{Pers.} = 2 \text{ Techniker}$ $\hat{=} 80.000 \text{ DM/a}$	160.000
$(\Sigma K_{j.Anl.} + \Sigma K_{Wart.} + K_{Pers.})$	305.000
$\frac{100}{p_V(51\%) \cdot 365 \cdot 8 \cdot 60}$	$1,13 \cdot 10^{-5}$
$(\Sigma K_{j.Anl.} + \Sigma K_{Wart.} + K_{Pers.}) \cdot 1,13 \cdot 10^{-5}$ $= k_A \text{ (DM/min)}$	350

5.4 Analysenkosten bei Anwendung der NAA

Nach 3.2.2 sind bei der NAA zwei Schritte erforderlich. Je nach Länge der Abklingzeit wird mit 2 verschiedenen Formeln gerechnet (siehe auch Diagramm 3)

- wenn $t_{Akt} + t_{Mess} < t_{Abkl.}$ ist $K_A = (t_{Akt} + t_{Mess}) \cdot z \cdot Bt_V \cdot k_A$ (8)

- wenn $t_{Akt} + t_{Mess} > t_{Abkl.}$ ist $K_A = (t_{\rho} + t_{\phi} + t_{Akt} + t_{Mess} + t_{Abkl.}) \cdot z \cdot Bt_v \cdot k_A$ (9)

Wie bei der NEG errechnen sich die spezifischen Analysenkosten nach (7). Da bei einer Anordnung mit Ge(Li)-Detektor auch Abschreibungs-, Wartungs- und Instandhaltungskosten sowie Personalkosten gleich sind, kann für k_A mit 3,50 DM/min gerechnet werden. Für eine BLS mit NaJ-Detektor läßt sich k_A nach (7) Tabelle 1 und 4 errechnen

Tabelle 4

	NAA mit NaJ-Detektor
$\Sigma K_{j.Anl}$	103.800
ΣK_{Wart}	18.200
$K_{Pers.} = 2 \text{ Techniker}$ $\hat{=} 80.000 \text{ DM}$	160.000
$(\Sigma K_{j.Anl} + \Sigma K_{Wart} + K_{Pers.})$	282.000
$\frac{100}{p_V (51\%) \cdot 365 \cdot 8 \cdot 60}$	$1,13 \cdot 10^{-5}$
$(\Sigma K_{j.Anl} + \Sigma K_{Wart} + K_{Pers.}) \cdot 1,13 \cdot 10^{-5} =$ $= K_A \text{ (DM/min)}$	3,20

5.5 Analysenkosten bei Anwendung der RFA

Die Kosten der Röntgenfluoreszenzanalyse errechnen sich zu

$$K_A = t_A \cdot z \cdot Bt_v \cdot k_A \quad (10) \quad \text{siehe Diagramm 4}$$

Die spezifischen Analysenkosten errechnen sich nach Formel (7). Da elementabhängig die RFA-Sonde mit verschiedenen Detektoren ausgerüstet werden kann ergeben sich für k_A zwei Werte, die den nach folgender Tabelle entnommen werden können. Die Abschreibungs- und Instandhaltungskosten sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Tabelle 5

	RFA mit Si(Li)-Det. Arbeitstemp. -30°	RFA mit Si(Li)-Det. Arbeitstemp. -180°
$\Sigma K_{j.Anl}$	102.700	113.200
ΣK_{Wart}	19.100	19.900
$K_{Pers} = 2 \text{ Techniker}$ $\hat{=} 80.000 \text{ DM/a}$	160.000	160.000
$(\Sigma K_{j.Anl} + \Sigma K_{Wart} + K_{Pers})$	281.800	293.100
$\frac{100}{p_V(51\%) \cdot 365 \cdot 8 \cdot 60}$	$1,13 \cdot 10^{-5}$	$1,13 \cdot 10^{-5}$
$(\Sigma K_{j.Anl} + \Sigma K_{Wart} + K_{Pers}) \cdot 1,13 \cdot 10^{-5} =$ $= k_A \text{ (DM/min)}$	3,20	3,30

6. Kostenanalyse für marine Explorationsvorhaben

Wie bei terrestrischen Explorationsvorhaben liefert die allgemeine Kostenanalyse mariner Explorationsvorhaben nun Vergleichswerte. Erst eine Konkretisierung des Anwendungsfalles bringt unter Berücksichtigung der entsprechenden Randbedingungen Absolutwerte. Dies wird noch verdeutlicht, wenn man berücksichtigt, daß die spezifischen Analysenkosten vor allem von den Schiffskosten beeinflusst werden und die Schiffseinsatzzeiten bei konventionellen und kerntechnischen Analyseverfahren stark differieren. Besondere Bedeutung kommt daher auch der Schiffsauswahl zu, die dem jeweiligen Anwendungsfall angepaßt sein muß. Es ist im Einzelfall auch zu prüfen, ob sich durch den Einsatz einer Zweitausrüstung und eines zusätzlichen Arbeitsbootes der Kostenvergleich nicht wesentlich ändert. Desgleichen kann nun in jedem

Einzelfall entschieden werden, ob die Schiffskosten dem Analysenverfahren 100%ig angerechnet werden können, oder ob mit der Durchführung von Analysen gleichzeitig auch noch andere Aufgaben erfüllt werden. In diesem Fall wären die Schiffskosten entsprechend niedriger einzusetzen.

6.1 Annahmen und rechnerische Voraussetzungen

Vergleichswerte der Kostenanalyse sind die Kosten je vermessene Bohrung.

6.1.1 Gesamtkosten

Die Gesamtkosten je Bohrung errechnen sich auf dieselbe Art, wie bei der terrestrischen Exploration. Es gilt die unter Punkt 5.1.1 angegebene Formel (1).

6.1.2 Bohrkosten

Die Bohrkosten sind vom Bohrverfahren, der Bohrtiefe und den spezifischen Bohrkosten abhängig; weniger jedoch vom Bohrdurchmesser, sofern er kleiner als 250 mm ist.

Für alle marinen Bohrverfahren gilt

$$K_B = T_B \cdot k_B \quad (11)$$

Unter T_B ist die Gesamtbohrzeit je Bohrung zu verstehen. Sie ist verfahrensabhängig und beinhaltet die reine Bohrzeit und alle Nebenzeiten.

Das Kernbohren wird für Analysen nach konventionellen Verfahren angewandt. T_B errechnet sich hierbei zu:

$$T_B = t_B \cdot Bt_g + T_G + \left(\frac{Bt}{6} - 1\right) \cdot t_K \quad (12) \text{ siehe Diagramm 5}$$

Der Ausdruck $\frac{Bt}{6} - 1$ ergibt die Anzahl der gezogenen Kerne je Bohrung, wenn eine Kernlänge von 6 m vorausgesetzt wird und der letztgebohrte Kern unberücksichtigt bleibt, weil das Ziehen des Kernes gleichzeitig

mit dem Hieven der Bohranlage erfolgt. t_K ist die erforderliche Zeit zum Ziehen eines Kernes. Das Ergebnis aus $\frac{Bt_G}{6} - 1$ ist auf die nächste ganze Stelle aufzurunden. Für kerntechnische Analysenverfahren wird das Spülbohren angewandt. In diesem Fall wird

$$T_B = t_B \cdot Bt_G \cdot T_G \quad (13) \quad \text{siehe Diagramm 6}$$

T_G ist für Kernbohren und Spülbohren gleich und setzt sich aus der Vorbereitungszeit zum Bohren, der Zeit zum Hieven der Anlage und der Zeit zum Ansteuern der nächsten Bohrposition zusammen

$$T_G = T_R + T_H + T_F \quad (14)$$

Die spezifischen Bohrkosten k_B sind bei konventionellen und kerntechnischen Analysenverfahren unterschiedlich. Während für kerntechnische Verfahren $k_B = k_A$ wird, da die Gesamtkosten (Schiff, Analyseneinrichtung, Personalkosten) Grundlage der Berechnung der spezifischen Kosten sind, errechnet sich k_B für konventionelle Analysenverfahren nach:

$$k_B = \frac{(K_{j.Anl.} + K_{Wart} + K_{Schiff} + K_{Pers}) \cdot 100}{p_V \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60} \quad (15)$$

$K_{j.Anl.}$ ergibt sich aus den Anschaffungskosten (K_{Anl}) der Bohranlage und der Abschreibungsdauer $t_{Abschr.}$

$$K_{Anl} = 250 \text{ TDM}, \quad t_{Abschr} = 3 \text{ a}, \quad \text{daraus } K_{j.Anl.} = 83 \text{ TDM}$$

Für Wartungs- und Instandhaltungskosten werden 24% von $K_{j.Anl.}$ angenommen $K_{Wart} = 20 \text{ TDM}$.

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

Diese Werte sind auf eine Kampagne bezogen. Die Verfügbarkeit des Gesamtsystems ergibt sich somit zu 65% bei 100%iger Anrechnung der Schiffskosten. Da im 3-Schichten-Betrieb gearbeitet wird, werden pro Tag 24 Stunden berechnet. Die Berechnung von k_B kann der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 6

	Ausrüstung einfach	Ausrüstung doppelt + Arbeitsboot
$K_{j.Anl}$	83.000	166.000
K_{Wart}	20.000	40.000
K_{Schiff}	2.500.000	2.500.000
$K_{Arbeitsboot}$		200.000
$K_{Pers} = 6 \text{ Techniker } \acute{a} 80.000$	480.000	960.000
1 Akademiker	125.000	250.000
$K_{j.Anl} + K_{Wart} + K_{Schiff} + K_{Pers}$	3.208.000	4.116.000
$\frac{100}{p_V(65\%) \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60}$	$2.92 \cdot 10^{-6}$	$2.92 \cdot 10^{-6}$
$(K_{j.Anl} + K_{Wart} + K_{Schiff} + K_{Pers}) \cdot 2,92 \cdot 10^{-6} =$ $= k_B \text{ (DM/min)}$	9.40	9.70

6.1.3 Analysenkosten

Sie ergeben sich nach Formel (3), wie unter Punkt 5.1.3 beschrieben.

6.2 Analysenkosten bei Anwendung konventioneller Verfahren

Siehe 5.2.

6.3 Analysenkosten bei Anwendung der NEG

Da beim marinen Einsatz der NEG sowohl die Dichte- als auch die Neutronenflußmessung unberücksichtigt bleiben (siehe 4.2.1.2) kann die Formel (6) vereinfacht geschrieben werden

$$K_A = t_A \cdot z \cdot B t_V \cdot k_A \quad (16) \quad \text{siehe Diagramm 7}$$

Die spezifischen Analysenkosten errechnen sich nach

$$k_A = \frac{(\sum K_{j.Anl} + \sum K_{Wart} + K_{Schiff} + K_{Pers}) \cdot 100}{p_V \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60} \quad (17)$$

Die jährlichen Abschreibungs- und Instandhaltungskosten können der Tabelle 2 entnommen werden. Die Verfügbarkeit des Schiffes wird mit 65% angenommen (siehe 6.1.2).

Tabelle 2: Jährliche Abschreibungs- und Instandhaltungskosten der Systemkomponenten (marine Explorationsvorhaben)

Bezeichnung	NEG				RFA mittels Si(Li)-Detekt. Arbeitstemp. -30° C				RFA mittels Si(Li)-Detekt. Arbeitstemp. -180° C			
	K _{Anl} (TDM)	t _{Abschr} (a)	K _{j.Anl} (TDM)	K _{Wart} (TDM)	K _{Anl} (TDM)	t _{Abschr} (a)	K _{j.Anl} (TDM)	K _{Wart} (TDM)	K _{Anl} (TDM)	t _{Abschr} (a)	K _{j.Anl} (TDM)	K _{Wart} (TDM)
Bohrgerät einschl. Bohrgestänge	250	3	83,0	20,0	250	3	83,0	20,0	250	3	83,0	20,0
Bohrlochsonde be- stehend aus:												
Quelle	35	3	1,2	-	1	1	1,0	-	1	1	1,0	-
Detektor	30	1,5	20,0	-	36	1,5	24,0	-	36	1,5	24,0	-
Kühlaggregat	35	2	17,5	-	-	-	-	-	35	2	17,5	-
Sondenelektronik	20	5	4,0	1,0	16	5	3,2	0,8	16	5	3,2	0,8
Kabel	2	0,25	8,0	-	2	0,25	8,0	-	2	0,25	8,0	-
Dichte-Log	4	2	2,0	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Bohrlochsonden- mechanik	37	3	12,3	3,1	12	3	4,0	1,0	29	3	9,7	2,5
Auswerte- elektronik	144	5	28,8	7,2	182	5	36,4	9,0	182	5	36,4	9,0
Abschirmbehälter	25	10	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektronik- Container	64	10	6,4	-	64	10	6,4	-	64	10	6,4	-
Σ (TDM)	-	-	185,7	31,8	-	-	166,0	30,8	-	-	189,2	32,3

Die nachfolgende Tabelle dient der Bestimmung von k_A

Tabelle 7

	Ausrüstung einfach	Ausrüstung doppelt Arbeitsboot
$\Sigma K_{j.Anl}$	185.700	371.400
ΣK_{Wart}	31.800	63.600
K_{Schiff}	2.500.000	2.500.000
$K_{Arbeitsboot}$		200.000
K_{Pers} : 6 Techniker á 80.000	480.000	960.000
1 Akademiker	125.000	250.000
$\Sigma K_{j.Anl} + \Sigma K_{Wart} + K_{Schiff} + K_{Pers}$	3.322.500	4.345.000
$\frac{100}{p_V(65\%) \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60}$	$2,92 \cdot 10^{-6}$	$2,92 \cdot 10^{-6}$
$(\Sigma K_{j.Anl} + \Sigma K_{Wart} + K_{Schiff} + K_{Pers}) \cdot 2,92 \cdot 10^{-6}$ = k_A (DM/min)	9,70	12,70

6.4 Analysenkosten bei Anwendung der RFA

Die Kosten der RFA errechnen sich auf dieselbe Art wie die beim terrestrischen Einsatz. Es gilt die unter 5.5 angegebene Formel (10);

Graphisch lassen sie sich mit Hilfe des Diagrammes 7 bestimmen.

Die spezifischen Analysenkosten errechnen sich nach (17). Durch die zwei verschiedenen RFA-Sonden mit unterschiedlichen Detektoren ergeben sich für k_A zwei Werte. Die Abschreibungs- und Instandhaltungskosten sind in Tabelle 2 zusammengefaßt. Der Berechnung von k_A dient nachfolgende Tabelle.

Tabelle 8

	RFA mit Si(Li)-Det. Arbeitstemp. -30°C	RFA mit Si(Li)-Det. Arbeitstemp. -180°C
$\Sigma K_{j.Anl}$	166.000	189.200
ΣK_{Wart}	30.800	32.300
K_{Schiff}	2.500.000	2.500.000
K_{Pers} : 6 Techniker á 80.000	480.000	480.000
1 Akademiker	125.000	125.000
$\Sigma K_{j.Anl} + \Sigma K_{Wart} + K_{Schiff} + K_{Pers}$	3.301.800	3.326.500
$\frac{100}{P_V(65\%) \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60}$	$2,92 \cdot 10^{-6}$	$2,92 \cdot 10^{-6}$
$(\Sigma K_{j.Anl} + \Sigma K_{Wart} + K_{Schiff} + K_{Pers}) \cdot 2,92 \cdot 10^{-6} =$ $= k_A \text{ (DM/min)}$	9,60	9,70

7. Beispiele

Im Folgenden sollen drei praxisnahe Beispiele durchgerechnet werden, die einerseits den Umgang mit den Rechendiagrammen veranschaulichen, andererseits dem Kostenvergleich einzelner Analysenverfahren dienen.

Beispiel 1

Mineralseifenexploration in einem Gebiet wie dem mocambiquanischen Schelf. Die dem Beispiel zugrundegelegten Angaben stammen aus Sedimentanalysen dieses Gebietes und physikalischen Versuchen zur Bestimmung der Analysenzeit. Die zu analysierenden Elemente sind Ti, Mn und V.

Es wurde angenommen, daß eine 5 m dicke wertmetallführende Schicht in einer Tiefe von 30 m beginnt.

Zur Analyse eignen sich konventionelle Methoden sowie die NEG. Das RFA-Verfahren ist in diesem Fall nicht anwendbar.

a) Konventionelle Analysenmethode

Gegeben: $Bt_g = 45 \text{ m}$ (30 m + 5 m + 10 m Sicherheit)

$Bt_v = 7 \text{ m}$ (5 m wertmetallführende Schicht + 2 m Sicherheit)

z (für konventionelle Methode) = 1 m^{-1}

Anzahl der zu bestimmenden Elemente $n = 3$

$T_R = 2 \text{ Stunden}$ Spez. Analysenkosten je Element 60,--DM

$T_H = 0,7 \text{ Stunden}$ $k_T = 10,-- \text{ DM/Probe}$

$T_F = 0,3 \text{ Stunden}$ $k_M = 20,-- \text{ DM/Probe}$

$t_K = 0,5 \text{ Stunden}$

$t_B = 6 \text{ min/m}$

Ges.: K_G (bezogen auf eine Bohrung)

Lösung:

Nach (12) und Diagramm 5

$$T_B = t_B \cdot Bt_g + T_G + \left(\frac{Bt_g}{6} - 1\right) \cdot t_K$$

$$T_B = 660 \text{ min}$$

nach (11)

$$K_B = T_B \cdot k_B = 660 \cdot 9,40 \quad K_B = 6204,-- \text{ DM}$$

$$k_B \text{ (nach Tabelle 6)} = 9,40 \text{ DM/min}$$

nach (4)

$$K_A = Bt_v \cdot z \cdot k_{A1} = 7 \cdot 1 \cdot 210 \quad K_A = 1470,-- \text{ DM}$$

nach (5)

$$k_{A1} = n \cdot k_{EA} + k_T + k_M = 3 \cdot 60 + 10 + 20; \quad k_{A1} = 210,-- \text{ DM/Probe}$$

nach (1)

$$K_G = K_B + K_A$$

$$K_G = 7674,-- \text{ DM}$$

b) Neutroneneinfanggammastruktroskopie -NEG-

Gegeben: $Bt_g = 45 \text{ m}$

$T_R = 2 \text{ Stunden}$

$Bt_v = 7 \text{ m}$

$T_H = 0,7 \text{ Stunden}$

$z = 3 \text{ m}^{-1}$ (für NEG)

$T_F = 0,3 \text{ Stunden}$

$t_A = 10 \text{ min}$

$T_B = 6 \text{ min/m}$

Lösung:

nach (13) und Diagramm 6

$$T_B = t_B \cdot Bt_G + T_G$$

$$T_B = 450 \text{ min}$$

nach (11)

$$K_B = T_B \cdot k_B = 450 \cdot 9,70 \quad K_B = 4365,-- \text{ DM}$$

$$k_B = k_A$$

nach (16) und Diagramm 7

$$K_A = t_A \cdot z \cdot Bt_V \cdot k_A \quad K_A = 2037,-- \text{ DM}$$

$$k_A \text{ (nach Tabelle 7)} = 9,70 \text{ DM/min}$$

nach (1)

$$K_G = K_B + K_A \quad K_G = \underline{\underline{6402,-- \text{ DM}}}$$

Eine Untersuchung der kostenbestimmenden Faktoren dieses Beispiels zeigt, daß die Gesamtkosten durch die Schiffskosten sowie die Bohr- und Analysenzeiten bestimmt werden. Um die Gesamtkosten niedriger zu halten, müßten die Bohr- und Analysenzeiten verringert werden, ohne daß die Schiffskosten wesentlich ansteigen. Dies ließe sich durch eine Verdoppelung der Geräte und des Einsatzes eines zusätzlichen Arbeitsbootes erreichen; sodaß in derselben Zeit bei konventionellen Analysenverfahren 2 Bohrungen und bei kerntechnischen Analysenverfahren die doppelte Anzahl an Analysen durchgeführt werden können, d.h. die Zeiten können halbiert werden. Unter diesen Bedingungen soll die Rechnung nun ein zweites Mal durchgeführt werden.
Zusätzliche Annahme: jährliche Kosten für ein Arbeitsboot 200 TDM.

a) Konventionelle Analysenmethode

$$T_B = 330 \text{ min}$$

nach (11)

$$K_B = T_B \cdot k_B = 660 \cdot 12,20 \quad K_B = 4026,-- \text{ DM}$$

k_B (nach Tab. 6, Spalte 2) = 12,20 DM/min

K_A ist unverändert, da hierbei eine Zeitersparnis eine äquivalente Erhöhung der Unkosten bedeutet.

$$K_A = 1470,-- \text{ DM}$$

nach (1)

$$K_G = K_B + K_A$$

$$K_G = 5496,-- \text{ DM}$$

b) Einfanggammaskopie

nach (11)

$$K_B = T_B \cdot k_B = 225 \cdot 12,70 \quad K_B = 2858,-- \text{ DM}$$

$$k_B = k_A$$

t_A auf eine Messung bei doppeltem Geräteaufwand bezogen:

$$t_A = 5 \text{ min}$$

nach (16) u. Diagramm 7

$$K_A = t_A \cdot z \cdot B t_v \cdot k_A \quad K_A = 1334,-- \text{ DM}$$

k_A (nach Tab. 7, Spalte 2) = 12,70 DM

$$t_B = 225 \text{ min}$$

nach (1)

$$K_G = K_B + K_A$$

$$K_G = 4192,-- \text{ DM}$$

Kostenzusammenstellung

		K_B (DM)	K_A (DM)	K_G (DM)
Schiff, einfache Geräteaus- stattung	Konventionelle Analysemmethode	6204.--	1470.--	7674.--
	NEG	4365.--	2037.--	6402.--
Schiff u.Arbeits- boot Geräteausstattung doppelt	Konventionelle Analysemmethode	4026.--	1470.--	5496.--
	NEG	2858.--	1334.--	4192.--

Beispiel 2

Wolframexploration in der Scheelitlagerstätte bei Mittersill

Die Daten sind Berichten über die Anwendung kerntechnischer Verfahren zu deren Lagerstättenerkundung entnommen [4].

Gegeben:

Bodenverhältnisse: Fels, Bodenklassifizierung 2,28 nach DIN 18.300 zu explorierendes Element: W, n ist daher 1.

$$Bt_g = 200 \text{ m}, Bt_v = 150 \text{ m}$$

Als Verfahren zur Bestimmung des Wertmetallgehaltes sind geeignet: Konventionelle Methoden, Neutronenaktivierungsanalyse mittels NaJ-Detektor und Ge(Li)-Detektor sowie die Röntgenfluoreszenzanalyse.

Gesucht: K_G (Gesamtkosten je Bohrung)

a) Konventionelle Analysenmethode

Gegeben: Oben aufgeführte Daten und zusätzlich

$$z = 2 \text{ m}^{-1}$$

Bohrdurchmesser 100 mm, entspricht einem Kerndurchmesser von ca. 80 mm

$$k_{EA} = 60, \text{-- DM/Probe}$$

$$k_T = 10, \text{-- DM/Probe}$$

$$k_M = 20, \text{-- DM/Probe}$$

Lösung:

Nach (2) und Diagramm 1

$$K_B = k_B \cdot Bt_g \qquad K_B = 30.700 \text{ DM}$$

nach (4)

$$K_A = Bt_v \cdot z \cdot k_{A1} = 200 \cdot 2 \cdot 90; \quad K_A = 36.000 \text{ DM}$$

nach (5)

$$k_{A1} = n \cdot k_{EA} + k_T + k_M = 1 \cdot 60 + 10 + 20; \quad k_{A1} = 90, \text{-- DM/Probe}$$

nach (1)

$$K_G = K_B + K_A \qquad K_G = 66.700, \text{-- DM}$$

b) Neutronenaktivierungsanalyse mittels NaJ-Detektor

Gegeben: Zusätzlich zu den obigen Angaben

$$\begin{aligned}t_{\text{Akt}} &= 10 \text{ min} && \text{Bohrdurchmesser: } 110 \text{ mm} \\t_{\text{Mess}} &= 4 \text{ min} \\t_{\text{Abkl.}} &= 24 \text{ Stunden} \\z &= 4 \text{ m}^{-1}\end{aligned}$$

Lösung:

Nach (2) u. Diagramm 1

$$K_B = k_B \cdot Bt_g \qquad K_B = 32.400, \text{-- DM}$$

nach (8) u. Diagramm 3

$$K_A = (t_{\text{Akt}} + t_{\text{Mess}}) \cdot z \cdot Bt_v \cdot k_A; K_A = 26.880, \text{-- DM}$$

k_A nach (7) und Tab. 4; $k_A = 3,20 \text{ DM/min}$

nach (1)

$$K_G = K_B + K_A \qquad \underline{K_G = 59.280, \text{-- DM}}$$

c) Neutronenaktivierungsanalyse mittels Ge(Li)-Detektor

Angaben wie unter b)

Lösung:

Nach (2) u. Diagramm 1

$$K_B = k_B \cdot Bt_g \qquad K_B = 32.400, \text{-- DM}$$

nach (8) und Diagramm 3

$$K_A = (t_{\text{Akt}} + t_{\text{Mess}}) \cdot z \cdot Bt_v \cdot k_A; K_A = 29.400, \text{-- DM}$$

k_A nach (7) und Tab. 3: $k_A = 3,50 \text{ DM/min}$

nach (1)

$$K_G = K_B + K_A \qquad \underline{K_G = 61.800, \text{-- DM}}$$

d) Röntgenfluoreszenzanalyse mittels Si(Li)-Detektor
Arbeitstemperatur des Detektors (-30°C)

Gegeben: zusätzlich zu obigen Angaben

$$t_A = 2 \text{ min}$$
$$z = 5 \text{ m}^{-1}$$

Bohrdurchmesser: 110 mm

Lösung

nach (2) und Diagramm 1

$$K_B = k_B \cdot B t_g \qquad K_B = 32.400,-- \text{ DM}$$

nach (10) und Diagramm 4

$$K_A = t_A \cdot z \cdot B t_v \cdot k_A \qquad K_A = 4.800,-- \text{ DM}$$

k_A nach (7) und Tabelle 5 $k_A = 3,20 \text{ DM/min}$

nach (1)

$$K_G = K_B + K_A \qquad K_G = \underline{\underline{37.200,-- \text{ DM}}}$$

Kostenzusammenstellung

	K_B (DM)	K_A (DM)	K_G (DM)
Konventionelle Analysenmethode	30.700,--	36.000,--	66.700,--
NAA, NaJ-Detektor	32.400,--	26.880,--	59.280,--
NAA, Ge(Li)-Detektor	32.400,--	29.400,--	61.800,--
RFA, Si(li)-Det. Arbeitstemp. -30°C	32.400,--	4.800,--	37.200,--

Beispiel 3:

Terrestrische Ni-Exploration

Gegeben:

Bodenverhältnisse: Fels, Bodenklassifizierung 2,28 nach DIN 18.300.

Zu explorierendes Element: Ni, n ist daher 1

$Bt_g = 60 \text{ m}$, $Bt_v = 10 \text{ m}$

Geeignete Verfahren zur Bestimmung des Wertmetallgehaltes sind konventionelle Methoden und die Einfanggamma-spektroskopie.

Gesucht: K_G

a) Konventionelle Analysenmethode

Gegeben: Oben aufgeführte Daten

$$z = 1 \text{ m}^{-1}$$

Bohrdurchmesser 100 mm

$$k_{EA} = 60, \text{-- DM/Probe}$$

$$k_T = 10, \text{-- DM/Probe}$$

$$k_M = 20, \text{-- DM/Probe}$$

Lösung:

Nach (2) und Diagramm 1

$$K_B = k_B \cdot Bt_g \quad K_B = 9120, \text{-- DM}$$

nach (4)

$$K_A = Bt_v \cdot z \cdot k_{A1} = 10 \cdot 3 \cdot 90; \quad K_A = 2700, \text{-- DM}$$

nach (5)

$$k_{A1} = n \cdot k_{EA} + k_T + k_M \cdot 1.60 + 10 + 20; \quad k_{A1} = 90, \text{-- DM/Probe}$$

nach (1)

$$K_G = K_B + K_A \quad K_G = \underline{\underline{11.820, \text{-- DM}}}$$

b) Einfanggammaskopie

Gegeben: Zusätzlich zu obigen Angaben

$$t_A = 10 \text{ min}$$

$$t_\rho = 4 \text{ min}$$

$$t_\phi = 8 \text{ min}$$

$$z = 3 \text{ min}^{-1}$$

Lösung:

nach (2) und Diagramm 1

$$K_B = k_B \cdot B t_g \quad K_B = 9720,--$$

nach (6) und Diagramm 2

$$K_A = (t_A + t_\rho + t_\phi) \cdot z \cdot B t_v \cdot k_A ; K_A = 2310,-- \text{ DM}$$

nach (7), Tab. 1 und 3

$$k_A = 3,50 \text{ DM/min}$$

nach (1)

$$K_G = K_B + K_A$$

$$K_G = 12.030,-- \text{ DM}$$

Kostenzusammenstellung

	K_B (DM)	K_A (DM)	K_G (DM)
Konventionelle Analysenmethode	9.120,--	2.700,--	11.820,--
N E G	9.720,--	2.310,--	12.030,--

8. Schlußbetrachtung

Die vorliegenden Beispiele über Kostenanalysen liefern Werte, die zum Kostenvergleich der einzelnen Verfahren herangezogen werden können. Sie können darüber hinaus auch als Schema zur Ermittlung der absoluten Explorationskosten dienen, wenn für den konkreten Anwendungsfall die entsprechenden Randbedingungen wie Lagerstättentopographie, erforderliche Meßgenauigkeit, Meßpunktabstände, Anzahl der zu analysierenden Elemente usw. berücksichtigt werden.

Die Kostenanalyse soll eine Entscheidungshilfe bei der Wahl der Analysenverfahren sein. Die Möglichkeit der Archivierung von Bohrkernen und der Durchführung mikroskopischer Untersuchungen, die Wiederholbarkeit von Analysen bei konventionellen Methoden, kostengünstigere Vollbohrungen, Direktanalyse bei Einsparung von Tätigkeiten wie Klassifizieren, Transportieren, Teilen und Aufbereiten von Bohrkernen, aussagekräftigere Analysen durch ein größeres bei der Bohrlochanalyse erfaßtes Gesteinsvolumen und sofortige Verfügbarkeit der Analyseergebnisse bei kerntechnischen Verfahren sind weitere zu berücksichtigende Punkte.

Den aufgeführten Beispielen zufolge sind kerntechnische Verfahren meist etwas kostengünstiger. Die beschriebenen Verfahren, deren Geräte und Einrichtungen entsprechen dem derzeitigen Stand der Technik. Eine Weiterentwicklung der Bohrlochsonden sieht die Vereinigung von Analysen- und Multisonden in einer Sonde vor. Dadurch würde zur Wertmetallanalyse, Dichte-, Feuchte-, Durchmesser- und Neutronenflußmessung ein einmaliges oder höchstens zweimaliges Befahren des Bohrloches reichen. Die Gesamtanalysenzeit würde dadurch wesentlich verkürzt, so daß sich auch die Analysenkosten gammaspektroskopischer Verfahren enorm verringern würden.

Legende

K_{Anl} (TDM)	Anlagekosten
t_{Abschr} (a)	Abschreibungsdauer
K_{Wart} (TDM)	Wartungs- und Instandhaltungskosten
$K_{j.Anl}$ (TDM/a)	jährliche Abschreibungskosten
K_G (DM)	Gesamtkosten je vermessener Bohrung
K_B (DM)	Bohrkosten je Bohrung
K_A (DM)	Analysenkosten je vermessener Bohrung
k_B (DM/m)	spezifische Bohrkosten je m Bohrung
Bt_g (m)	Gesamtbohrtiefe
T_A (min)	Analysenzeit je Probe
Bt_v (m)	vermessene Bohrtiefe
z (m^{-1})	Anzahl der Meßpunkte je m vermessener Bohrtiefe
k_A (DM/min)	spezifische Analysenkosten für eine Probe bei konventionellen Analysenverfahren
k_T (DM/Probe)	spez.Kosten für das Trennen einer Probe
k_M (DM/Probe)	spez.Kosten für das Mahlen einer Probe
t_A (min)	Analysenzeit je Meßpunkt
t_ρ (min)	erforderliche Zeit zur Dichtemessung
t_ϕ (min)	erforderliche Zeit zur Neutronenflußmessung
p_V (%)	prozentuale Verfügbarkeit des Systems
t_{Akt} (min)	Aktivierungszeit
t_{Mess} (min)	Meßzeit
t_{Abkl} (min)	Abklingzeit
T_B (min)	Gesamtbohrzeit je Bohrung
t_B (min/m)	Bohrzeit je lfd. m Bohrung

T_G (min)	Grundzeit je Bohrung
t_K (min)	Grundzeit je Bohrung
t_K (min)	Zeit zum Ziehen eines Bohrkernes
T_R (min)	Vorbereitungszeit zum Bohren
T_H (min)	Zeit zum Hieven der Bohranlage
T_F (min)	Fahrtzeit
K_{Pers} (DM)	jährliche Personalkosten
K_{Schiff} (DM)	jährliche Schiffskosten
K_{EA} (DM/Probe)	spezifische Analysenkosten je Probe
n (-)	Anzahl der zu explorierenden Elemente
M_P	Meßpunkt

Literaturangaben

- [1] G. Anger, Bayer AG, Leverkusen
Schwermineralvorkommen-Vergleichender Überblick
JO73-152/01

- [2] S. Janković
Wirtschaftsgeologie der Erze
1967, Springer-Verlag

- [3] Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe
Projekt Actiniden: 2. Halbjahresbericht 1972, S 83 ff
KFK-Bericht No. 1788

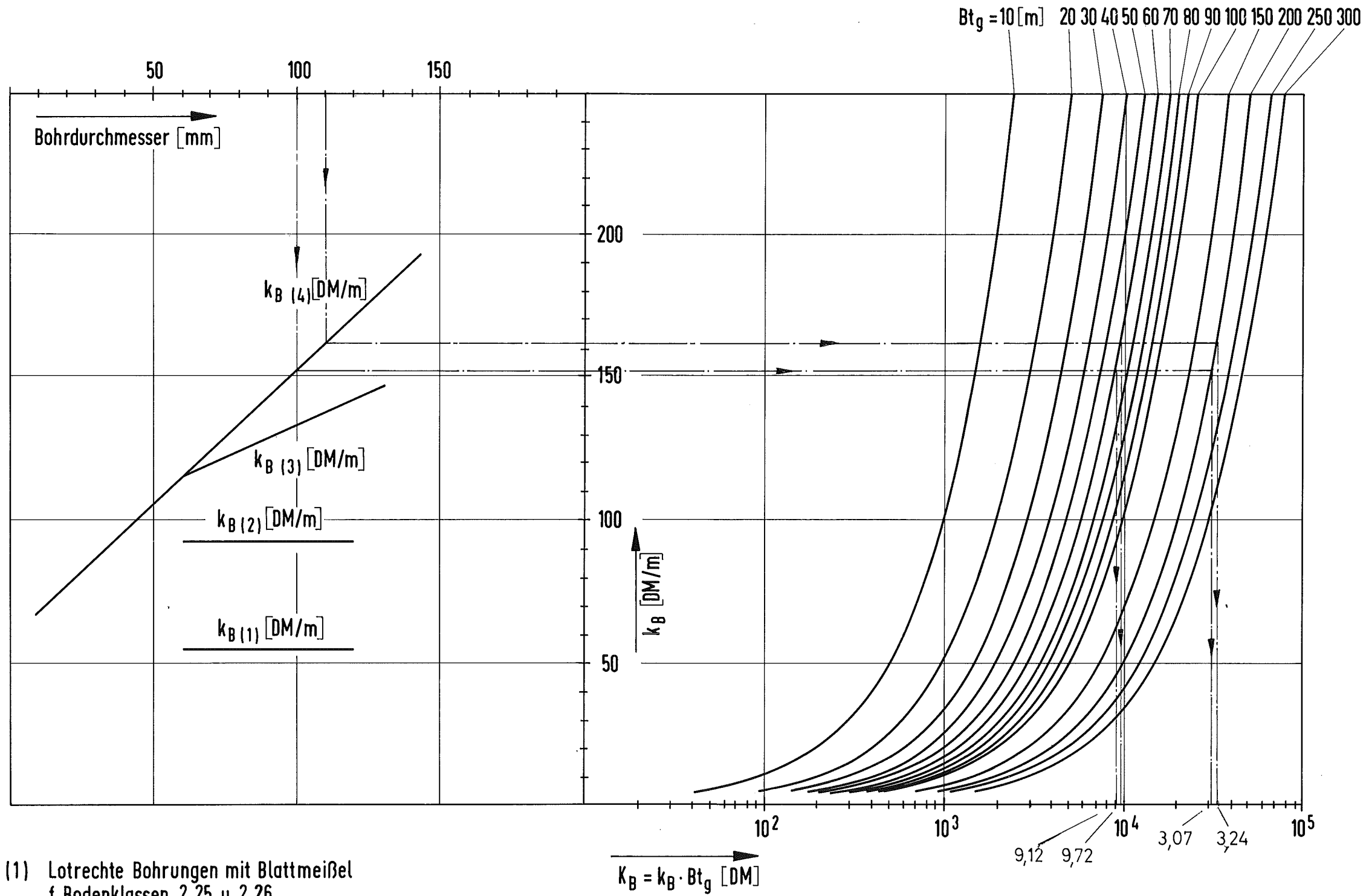
- [4] U. Fanger, A. Lubecki, R. Pepelnik, H. Würz
In-situ-Analyse demonstriert in der Scheelit-Lagerstätte
Mittersill
Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe

- [5] Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe
Projekt Actiniden: 1. Halbjahresbericht 1972, S 176 ff
KFK-Bericht No. 1656

- [6] Leistungsverzeichnis für Chem. Arbeiten
Gesellschaft Deutscher Chemiker
Verlag Chemie GmbH, Weinheim/Bergstraße

Diagramm 1

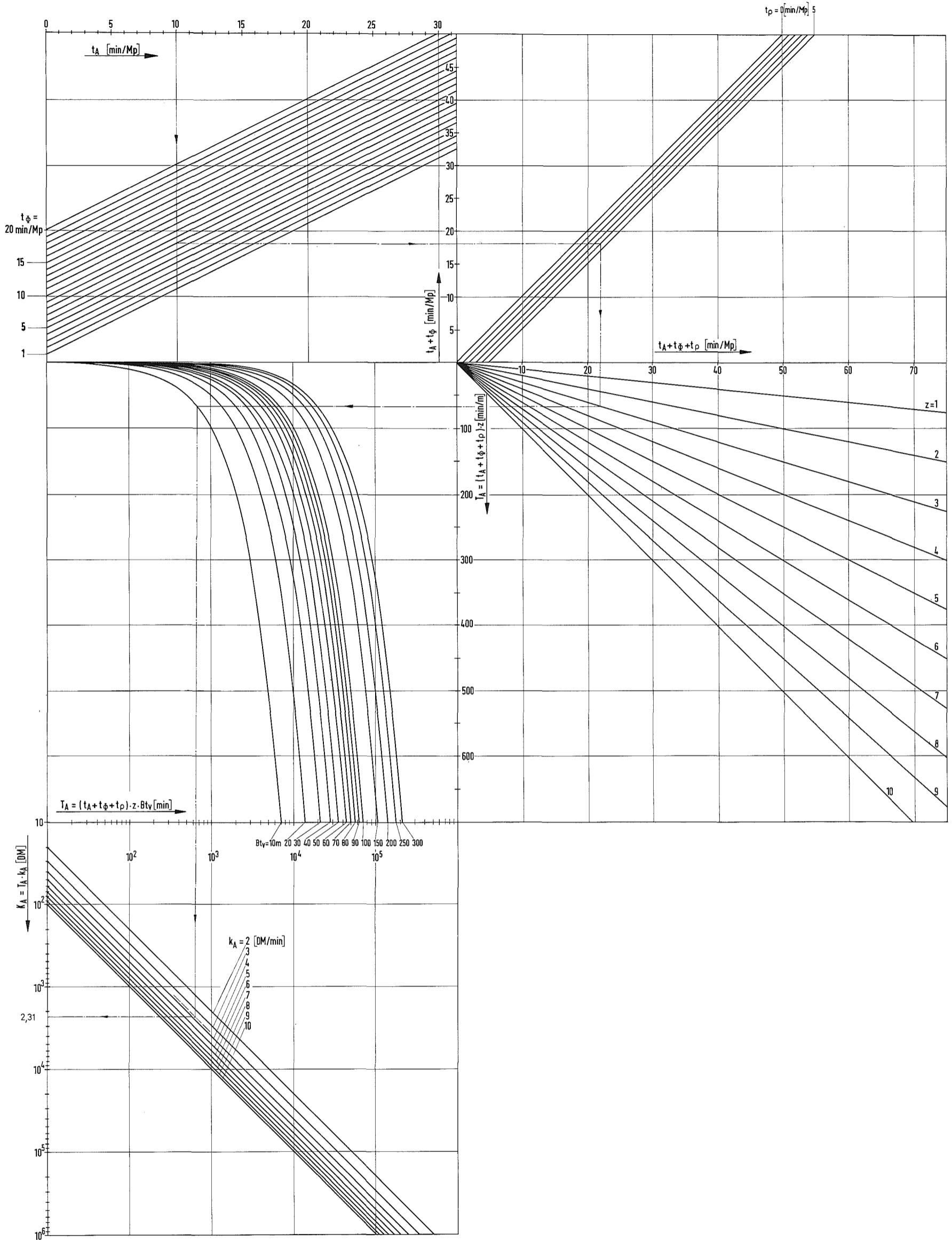
Bohrkosten terrestrischer Explorationsvorhaben



- (1) Lotrechte Bohrungen mit Blattmeißel
f. Bodenklassen 2.25 u. 2.26
- (2) Lotrechte Bohrungen mit Rollenmeißel
f. Bodenklasse 2.27
- (3) Kernbohren bei Bodenklassen 2.25, 2.26 u. 2.27
- (4) Kernbohren bei Bodenklasse 2.28

Diagramm 2

Analysenkosten terrestrischer Explorationsvorhaben mittels NEG



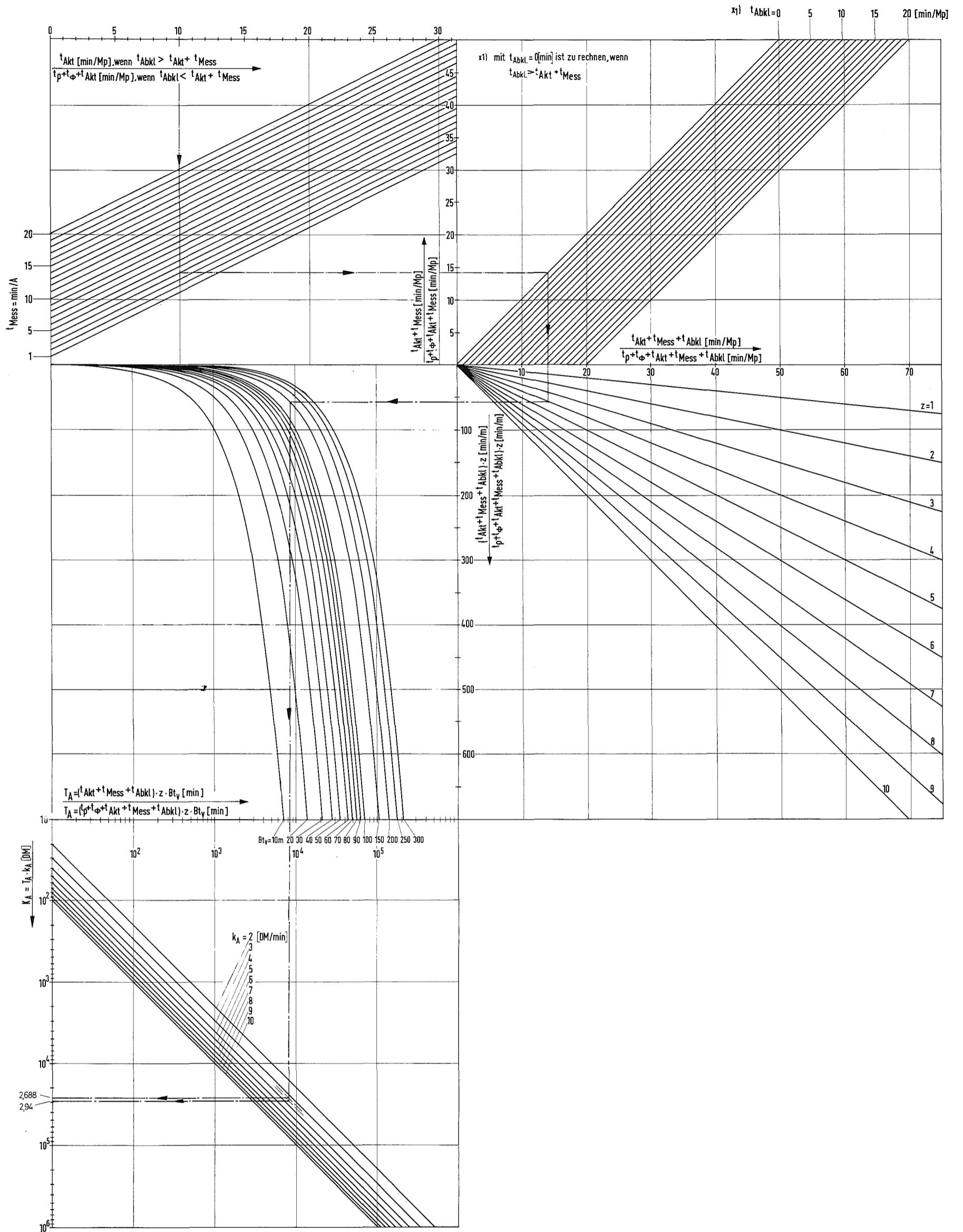


Diagramm 4

Analysenkosten terrestrischer Explorationsvorhaben mittels RFA

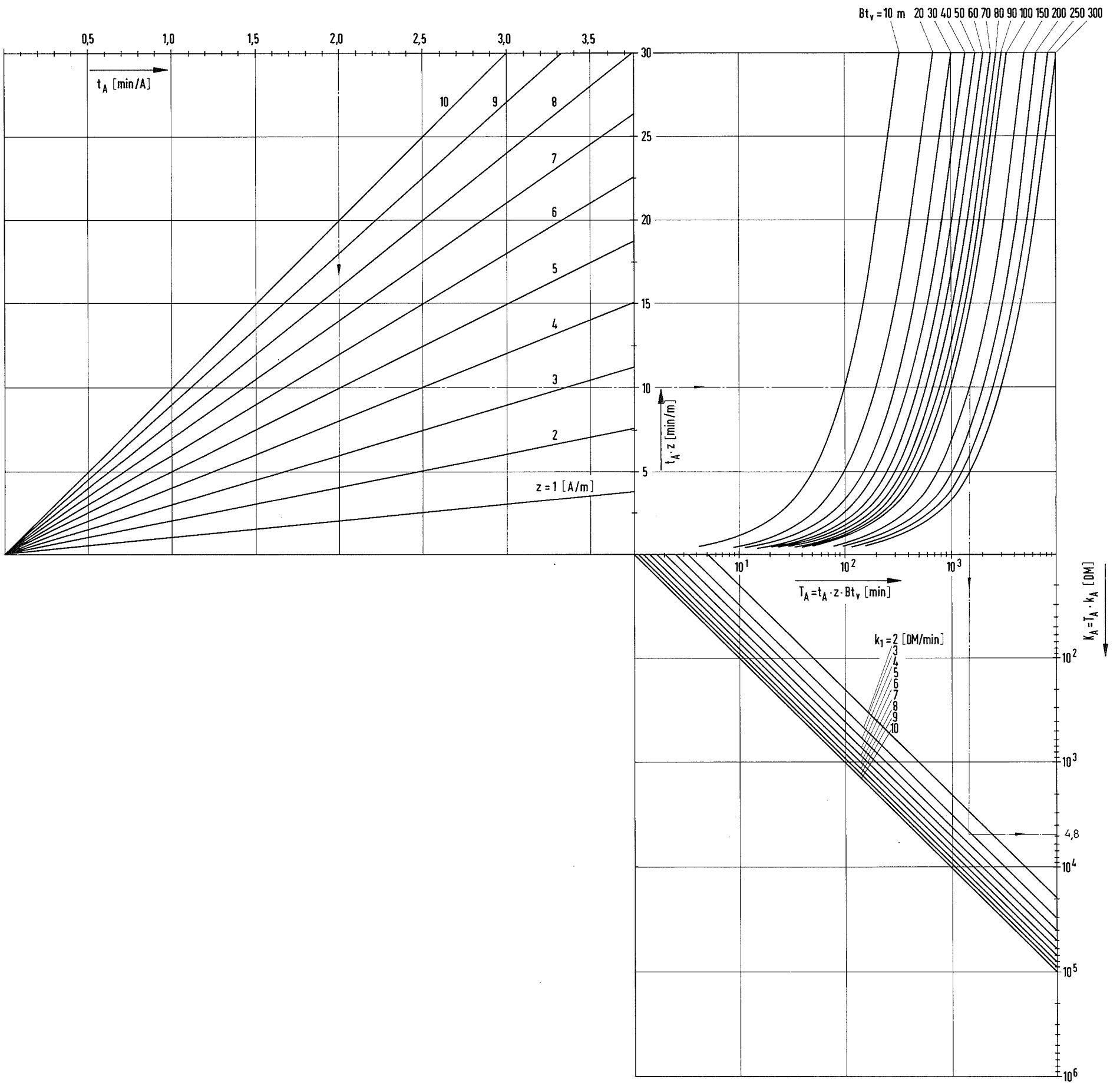


Diagramm 5

Bohrkosten mariner Explorationsvorhaben bei Anwendung konventioneller Verfahren

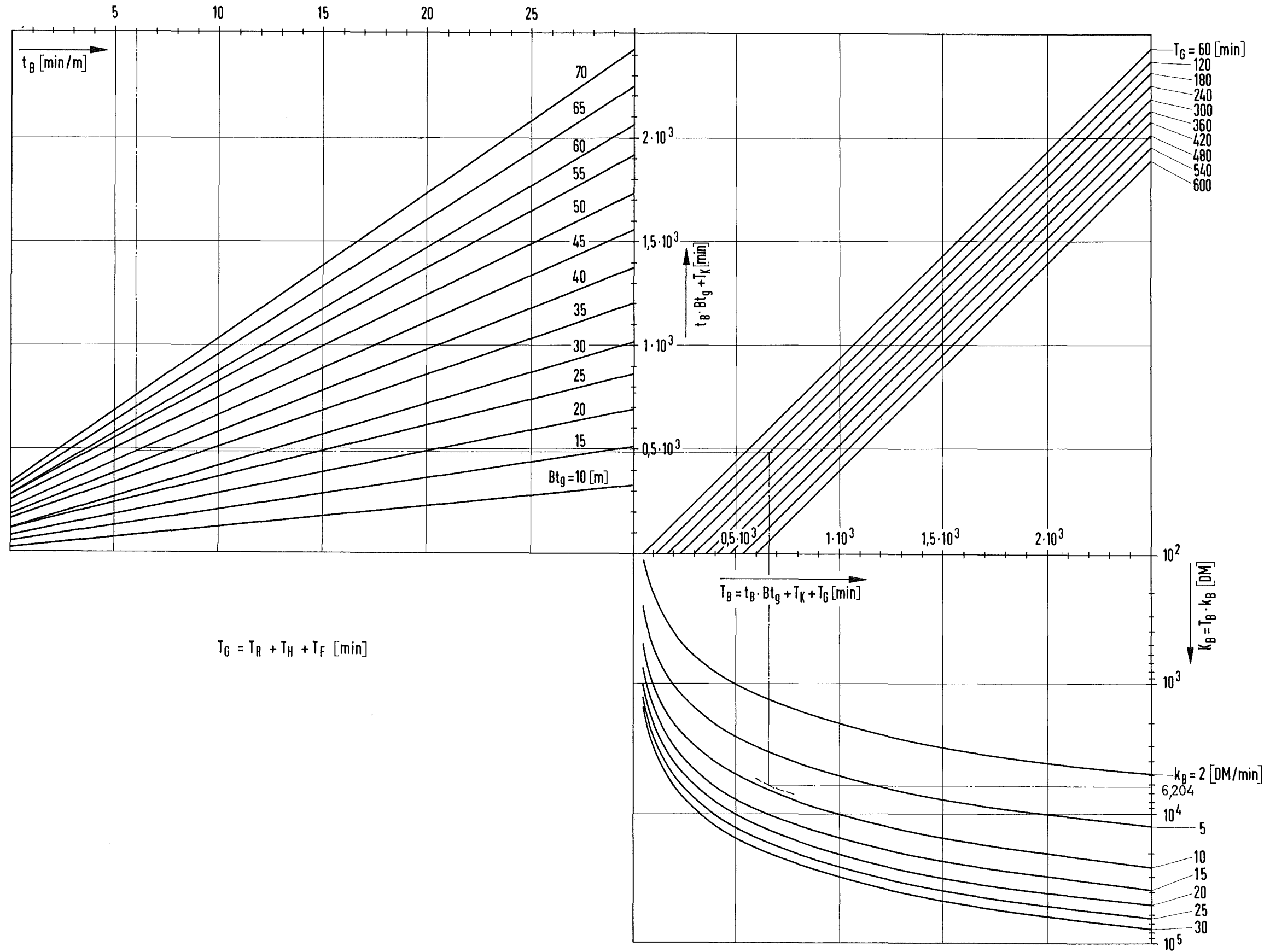


Diagramm 6

Bohrkosten mariner Explorationsvorhaben bei Anwendung kerntechnischer Verfahren

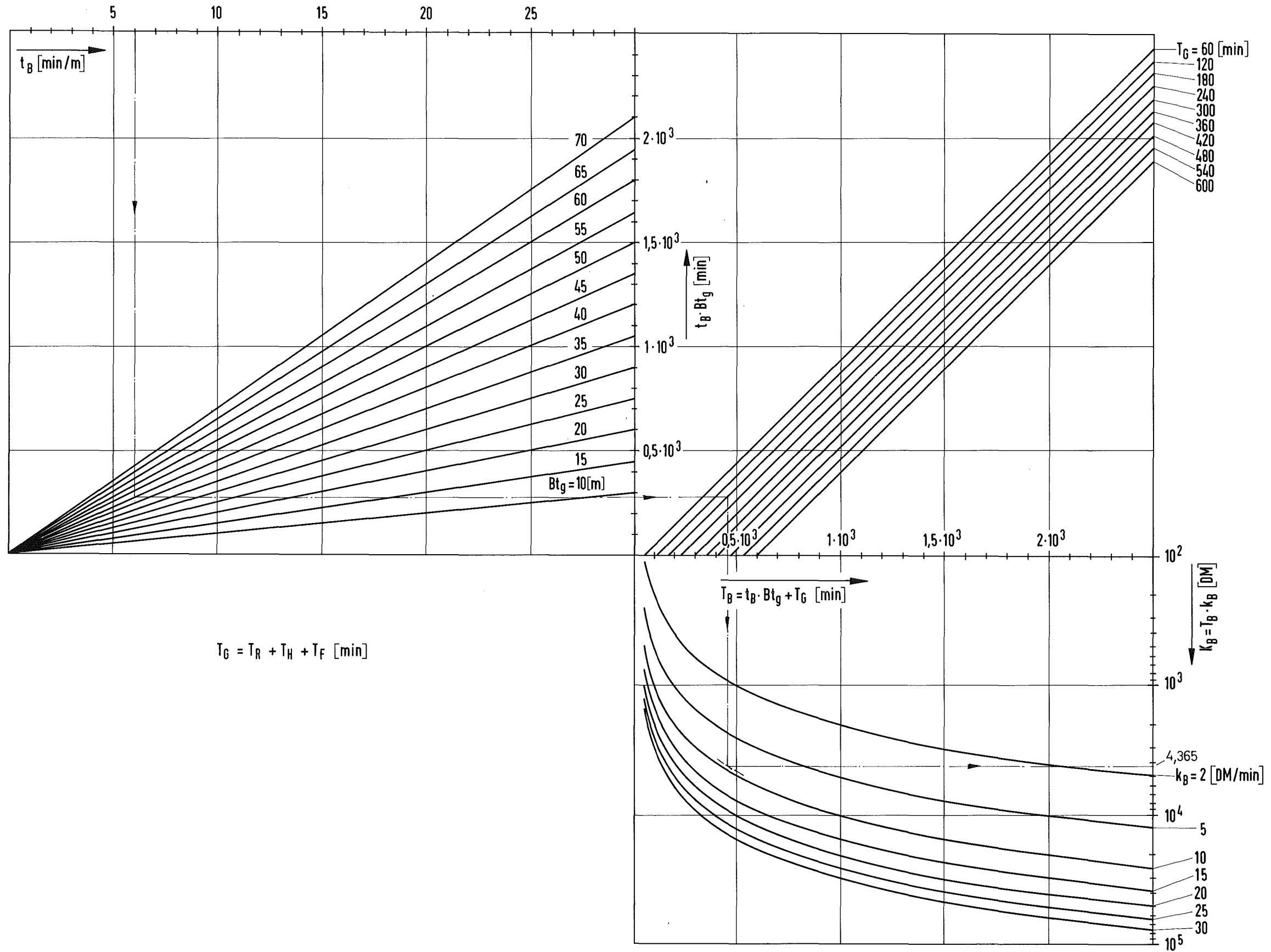


Diagramm 7

Analysenkosten mariner Explorationsvorhaben mittels NEG oder RFA

