

STUFENWEISE DURCHFÜHRUNG VON LAGERSTÄTTENUNTERSUCHUNGEN UNTER DEM GESICHTSPUNKT DER WIRTSCHAFTLICHKEIT AM BEISPIEL DER EISENERZLAGERSTÄTTE MANO RIVER, LIBERIA, WESTAFRIKA¹⁾

E. THEURKAUF²⁾

SAMENVATTING

Behandeld wordt hoe een economisch gericht onderzoek van een ijzerertsvoorkomen verricht werd door geologen, met inschakeling van mineralogen, ertswasserij-technici en mijn-ingenieurs. Door het onderzoek in opeenvolgende fasen te laten plaatsvinden, waarbij de bevindingen van ertswasserij en mijnbouw teruggeschakeld worden, kan zulk een onderzoek op elk kritisch punt afgebroken worden, hetgeen een tijd- en kostenbesparend effect kan hebben. Een en ander wordt schematisch gedemonstreerd aan de hand van een "network-plan".

EINFÜHRUNG

Die Untersuchungen der Eisenerzlagerstätte Mano River wurden angeregt durch die Firmen Wm.H. Müller & Co. und Mine Management Associates Ltd. Für das Vertrauen und die Unterstützung sei diesen beiden Gesellschaften besonders gedankt.

Im Rahmen dieses Vortrages soll gezeigt werden, wie sich die Bearbeitung der Lagerstätte stufenweise vollzogen hat. Dabei war eine enge Kooperation von Geologen, Mineralogen, Aufbereitern und Bergingenieuren notwendig; denn die Durchführung der Aufgabe wäre nicht möglich gewesen ohne eine wechselseitige Zusammenarbeit dieser geowissenschaftlichen und geotechnischen Disziplinen. Jede der Disziplinen für sich allein hätte bei der sehr speziellen Fragestellung nur ein Teilgebiet befriedigend lösen können.

¹⁾ Voordracht gehouden voor KIVI, afd. Mijnbouw en KNGMG te 's Gravenhage op 25 November 1971

²⁾ Düsseldorf

Aus Gründen des besseren Verständnisse wird im ersten Teil dieses Vortrages der organisatorische und technische Ablauf der stufenweisen Untersuchungsarbeiten erläutert. Im zweiten Teil werden die daraus resultierenden Ergebnisse dargelegt.

DIE EISENERZLAGERSTÄTTE MANO RIVER UND DIE ÜBRIGEN EISENERZPRODUZENTEN LIBERIAS

Die Eisenerzlagerstätte Mano River in Liberia gehört zu den Eisenerzvorkommen des westafrikanischen Eisenerzgürtels. Alle diese westafrikanischen Eisenerzlagerstätten sind an die präkambrische Quarzbändererz-Formation gebunden. Die bauwürdigen Erze der Mano Lagerstätte wurden durch die lateritische Verwitterung während eines feucht-warmen Wechselklimas aus der Quarbänder-Formation angereichert. (Bild 1)

Liberia, auf dessen Territorien die Lagerstätte Mano liegt, zählt zu den wichtigen Eisenerz produzierenden und exportierenden Ländern. (Bild 2)

Im Jahre 1951 kam die Eisenerzgrube Bomi Hills in Betrieb, 1962 Mano River, 1963 Mt. Nimba und 1965 Bong Range. Diese vier Grubenbetreiber zusammen förderten 1970 23,85 Mio t Eisenerz. Die Produktion der Mano River Grube steigerte sich von 600.000 t im 1. Betriebsjahr in 1962 auf 4,41 Mio t im 9. Betriebsjahr in 1970. Der prozentuale Anteil von Mano an der Produktion Liberias liegt heute bei etwa 18%. Der Anteil von Mano an der kumulierten

Förderung Liberias von 1951 bis 1970 beträgt ebenfalls 18%, ist also beachtenswert. (Bild 3)

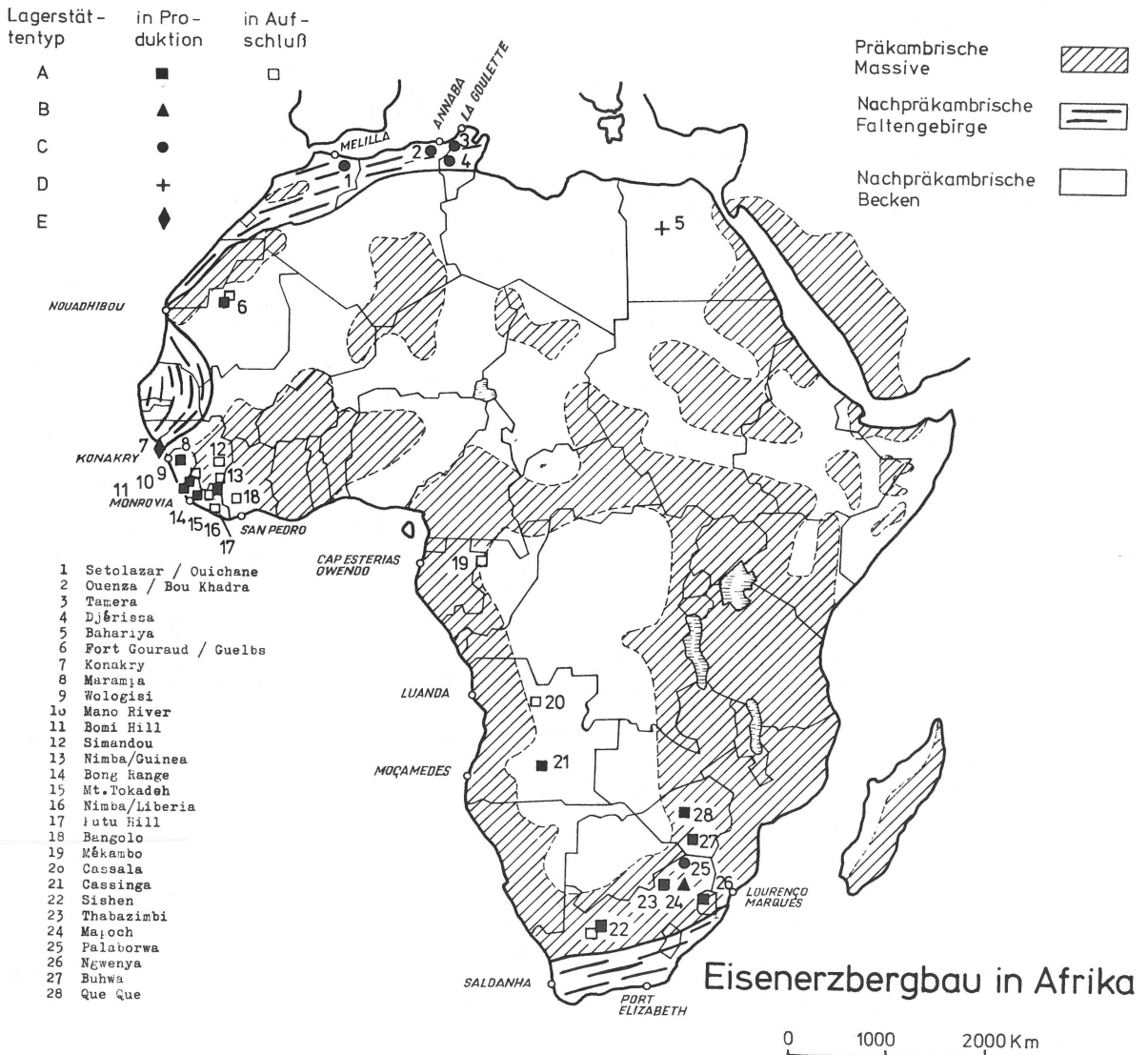
Der Verkauf der Mano-Produkte basiert in den ersten zehn Jahren von 1962–1971 auf langfristigen Abnahmeverträgen. In dieser ersten Betriebsperiode von 1962–1971 wurde und wird das Mano-Erz durch Zumischung von hochwertigen Feinerzen aus der Grube Bomi Hills qualitativ verbessert, so dass die Mano-Grube den in Laufe der Jahre steigenden Qualitätsansprüchen der Hüttenwerke gerecht werden konnte.

Für das nächste Dezennium von 1972–1981 strebt

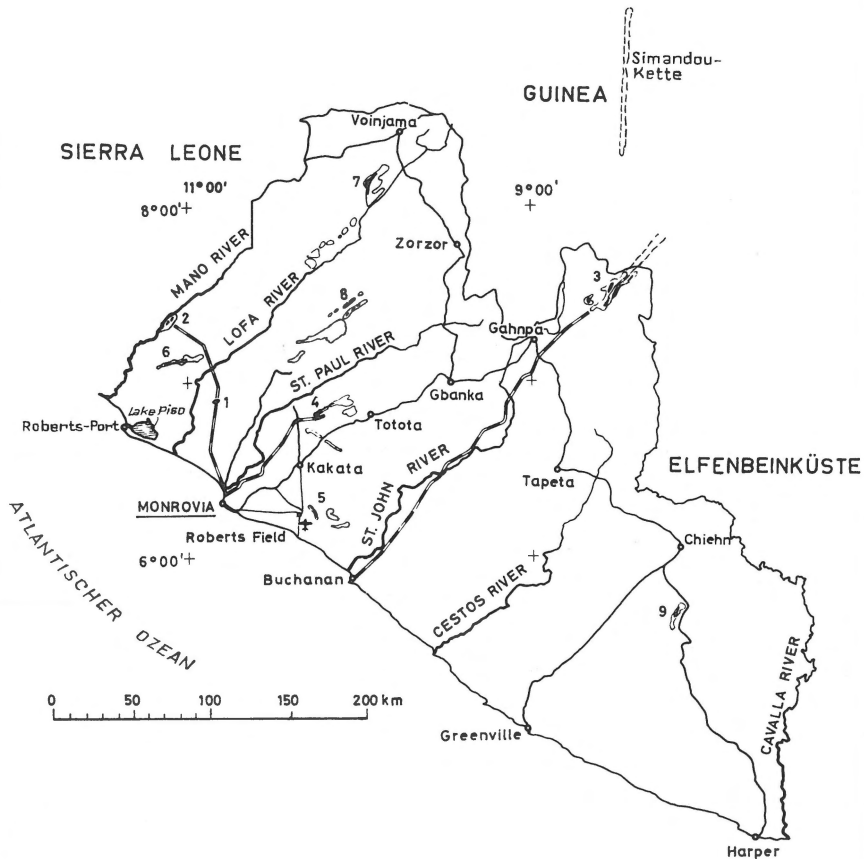
die Mine Management Associates Ltd. an, auf der Mano Grube einen neuen Weg zu gehen und die künftige Eisenerzproduktion nach Möglichkeit gänzlich auf eigene Erze zu stützen, aber ohne dabei die bisherige Qualität des Verkaufserzes herabsetzen zu müssen.

Ziel der Untersuchungen

Das Ziel der Untersuchungen war, basierend auf den augenscheinlich verschiedenen Erztypen in der Lager-



Liberia, Eisenerzlagerstätten



IN BETRIEB

1. Bomi Hills
2. Mano River
3. Nimba Range
4. Bong Range

IN PROSPEKTION

6. Bie Mountains
7. Wologisi Range
9. Putu Hills

SONSTIGE

5. Goe Range
8. Kpo Range

Eisenerzproduktion Liberias – Eisenerzproduktion Mano River

Jahr	Inbetriebnahme der Grube	Eisenerzprod. Liberias in Mio t	Eisenerzprod. Mano River in Mio t	Prozentualer Anteil von Mano an der Produkt. Liberias
1951	Bomi Hills	0,17	–	–
1952		0,90	–	–
1953		1,15	–	–
1954		1,30	–	–
1955		1,70	–	–
1956		2,10	–	–
1957		2,20	–	–
1958		2,30	–	–
1959		2,70	–	–
1960		3,10	–	–
1961		3,30	–	–
1962	Mano River	3,60	0,60	17%
1963	Mt. Nimba	7,50	2,09	28%
1964		12,50	3,09	25%
1965	Bong Range	16,00	3,64	23%
1966		16,90	3,43	20%
1967		18,40	4,09	22%
1968		21,60	3,99	18%
1969		22,87	3,96	18%
1970		23,85	4,41	18%
Summe		164,14	29,30	18%
1973/80		ca. 22–24	ca. 4–5	ca. 18–21%

stätte, herauszufinden, welche wettbewerbs- und verkaufsfähigen Produkte mit welchen Qualitäten und zu welchen Kosten aus dem noch anstehenden Mano Roherz hergestellt werden können und mit welchen Erzvorräten man hierfür in der Zukunft zu rechnen habe.

Zwei Informationsquellen waren für die Erreichung des Zieles der Studien gegeben: bereits vorhandene Unterlagen und neue Untersuchungen. Als bereits existierendes brauchbares Material konnten die Informationen über den Abbau betrachtet werden, einschliesslich aller Arten von Bohrergebnissen, Schiessbohrlochanalysen, Produktionszahlen, Aufbereitungsergebnisse etc.

Die besonders sorgfältige Abbauplanung und die Ausführung der "grade control" der Mano Grube zusammen mit den älteren Explorationsergebnissen noch nicht abgebauter und bereits ausgeerzter Erzkörper stellten zu Beginn ein Grundlagenmaterial dar, mit dem begonnen werden konnte.

Zusätzlich wurde eine Unterteilung des gesamten Erzes in verschiedene Typen mit unterschiedlichen Aufbereitungsverhalten geplant. Ziel dieser Unterteilung war die Schaffung einer Basis für Produktions-

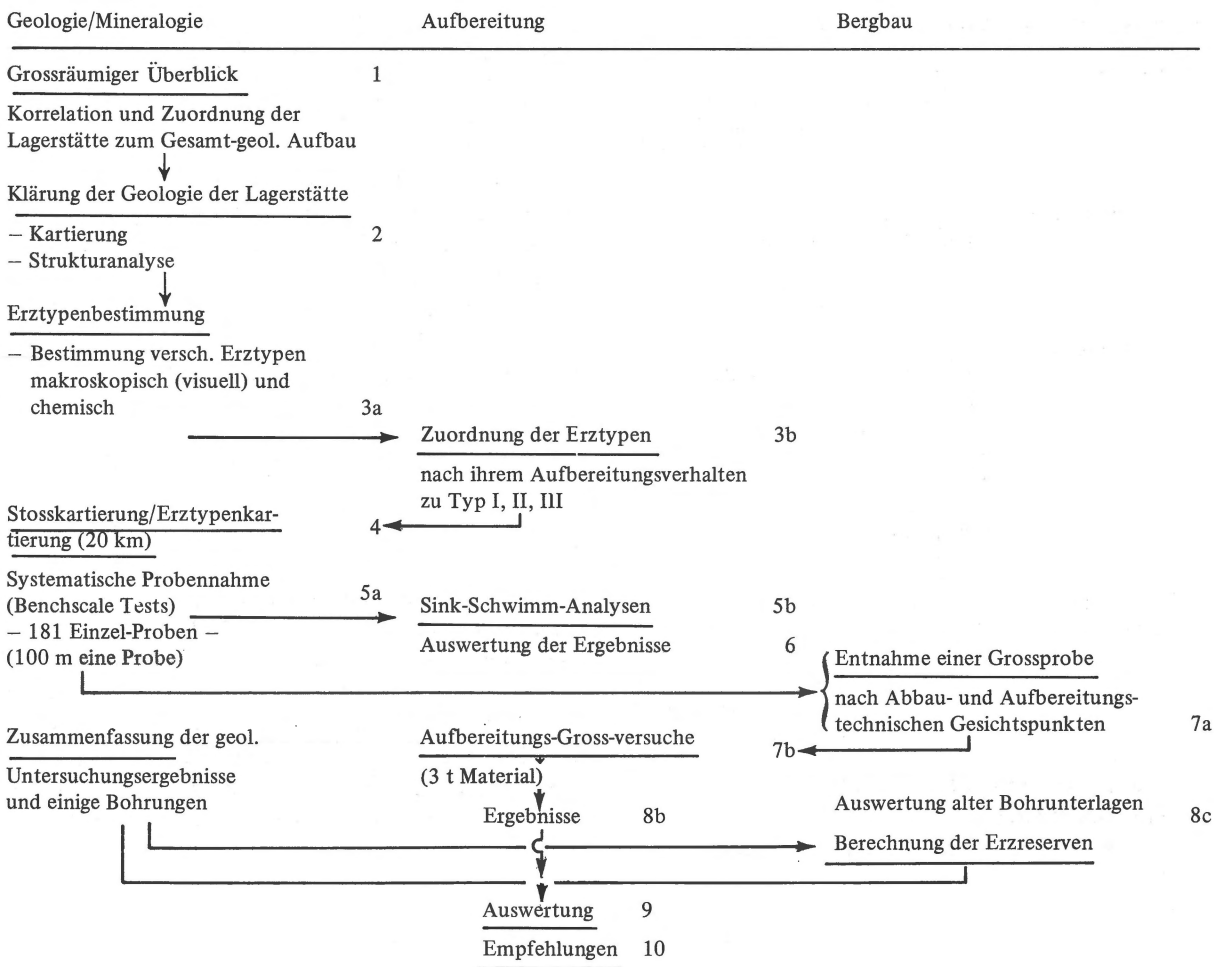
planung und Kostenkalkulation unter Berücksichtigung von Projektionen für Bergbau, Aufbereitung und Verkauf.

Die Untersuchungsstufen und ihr zeitlicher Ablauf

Aus dem Organisationsschema ist die stufenweise Durchführung der Untersuchungsarbeiten und das Zusammenwirken der drei Fachdisziplinen ersichtlich. Bei negativen Zwischenergebnissen war ein Abbruch der Untersuchungen an den Punkten 3b und 6 möglich, um nicht evtl. unnütz Gelder aufwenden zu müssen. Entsprechend war es auch mit den Auftraggebern vereinbart worden. (Bild 4)

Die Untersuchungen und verschiedenen Schritte des Programms wurden entsprechend dem Netzplan ausgeführt. Neben den Arbeiten in Liberia wurden dazugehörige Aufbereitungstests und Analysen in Deutschland durchgeführt. Die Gesamtzeit der Arbeiten bis zur Berichtserstattung wurde auf 20 Monate veranschlagt, die auf den Tag genau eingehalten werden konnten. (Bild 5)

Der oben erwähnte mögliche erste Arbeitsabbruch



beim Punkt 3b – Zuordnung der Erztypen nach ihrem Aufbereitungsverhalten zu Typ I, II und III – liegt in dem PERT-Schema bei Punkt 431, 510, 511, also in einem relativ frühen Stadium der Arbeiten, nämlich $1\frac{1}{2}$ Monate nach Arbeitsaufnahme. Die zweite Möglichkeit zur Arbeitseinstellung gemäss Punkt 6 – Auswertung der Ergebnisse der systematischen Probenahme, Benchscale-Tests – liegt im PERT-Schema etwa bei den Punkten 530, also 12–13 Monate nach Arbeitsbeginn. Die Grossprobenahme, Punkt 525, wäre dann nicht mehr erfolgt. (Bild 6)

Leistungen des Auftraggebers

Bei Arbeiten in Übersee empfiehlt es sich, für Nebenleistungen folgende Punkte vertraglich zu fixieren, deren Bezahlung nach Möglichkeit vom Auftrag-

geber direkt erfolgen sollte, um den Auftragnehmer von Verwaltungsarbeiten und Verwaltungskosten zu entlasten. Allerdings muss im Vertrag der Standard der Leistungen eindeutig festgelegt werden:

- Der Auftraggeber sorgt erforderlichenfalls für alle benötigten Arbeitsgenehmigungen für die Experten im Land und führt alle Formalitäten in Verbindung mit Visen, Lizenzen usw. durch.
- Der Auftraggeber ist für im Lande zu zahlende Abgaben verantwortlich (ausser Einkommenssteuer).
- Der Auftraggeber sorgt für alle Transporte von Personal und Material im Lande.
- Der Auftraggeber hat für die Unterkunft und Verpflegung der tätigen Herren Sorge zu tragen.
- Hilfspersonal stellt der Auftraggeber.
- Der Auftraggeber trägt den Transport aller nach

Personelle Besetzung und Zeitaufwand

2 Supervisor	: 1 Geologe 1 Bergingenieur	: Beide hielten sich zusammen 8 mal – insgesamt 70 Tage – auf der Lagerstätte auf
1 Senior-Geologist	: Bergingenieur Markscheider)	: 11 Monate auf der Lagerstätte
1 Junior-Geologist	: Geologe	: 12 Monate auf der Lagerstätte
1 Mineral-Engineer	: Berging. mit spe- ziellen Kennt- nissen in Geologie, Mineralogie und Aufbereitung. Auf seinen Grund- lagenarbeiten ba- sierte die Erztypen- bestimmung.	: 2 Monate auf der Lagerstätte
1 Benefication Engineer	: Aufbereiter	: 2 Aufenthalte auf der Lagerstätte – insgesamt 14 Tage –

28 Mann/Monate auf der
Lagerstätte

Europa zu versendenden Proben (evtl. Lufttransport vereinbaren).

– Der Auftraggeber stellt alle topographischen Kar-

ten und andere Informationen zur Verfügung, die für die Erreichung des Zieles der Untersuchung notwendig sind.

– Alle chemischen Analysen der genommenen Proben werden in einem Laboratorium im Lande durch den Auftraggeber durchgeführt.

– Analysen, die zu den Aufbereitungstests in Deutschland gehören, werden durch den Auftragnehmer ausgeführt.

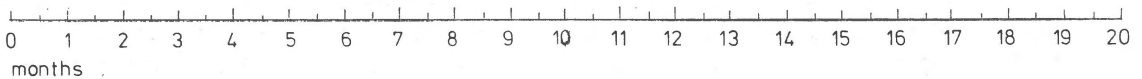
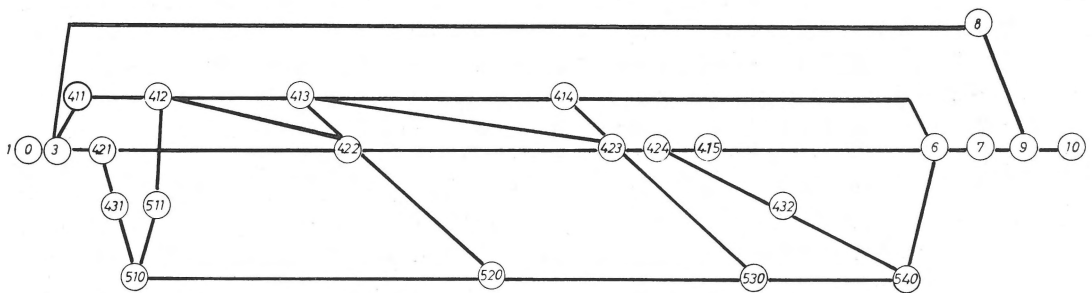
Natürlich erhebt diese Liste keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Auch sind die Bedingungen und Partner bei jeder Lagerstättenuntersuchung andere.

UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Geologie

Die Korrelation und Zuordnung der Eisenerzlagerstätten in Guinea, Sierra Leone, Elfenbeinküste und den übrigen Anliegerstaaten am Golf von Guinea zum gesamt-geologischen Aufbau gibt für die verschieden ausgebildeten Eisenerzlagerstätten in diesem Raum – mit ihren teilweise mächtigen Verwitterungskappen – einen Ausblick auf die Möglichkeiten zu gezielten weiteren Explorationsarbeiten nach Eisenerzlagerstätten.

N E T W O R K - P L A N



Explanation of network plan.

No.	activity finished	after weeks	personnel	country	promise
0	departure	—	S.V.1/S.V.2 S.G./M.E.	L	—
3	introduction	1	S.V.1/S.V.2 S.G./M.E.	L	—
411	ore type selection	2	S.G./M.E.	L	3
421	ore type samples	1	S.G./M.E.	L	411
431	arriving of sample	2	—	D	421
412	ore type mapping A	4	S.G./M.E.	L	421
413	ore type mapping H	10	S.G./I.G.	L	51
422	ore type samples A+H	4	S.G./I.G.	L	413
414	ore type mapping I	15	I.G.	L	—
423	ore type samples I	4	S.G./I.G.	L	414
424	bulk samples	3	S.G./M.E.	L	422/423
432	arrival of bulk samples	10	—	D	424
415	ore type mapping of cores	4	S.G.	L	424
510	testing of ore types	2	B.E.	D	431
511	first test information to Mano	1	B.E.	L	510
520	testing of serial samples A+H	12	—	L	432
530	testing of serial samples I	12	—	L	433
540	testing bulk samples	8	B.E.	D	434
6	tonnage reserve calculation	2	M.E.	L	52/53/54
7	cost estimate	4	M.E.	L	—
		4	S.V.2	D	6
8	market	—	S.V.1/S.V.2	D	—
9	recommendations	2	S.V.1/S.V.2	D	6/7/8
10	final report	4	S.V.1/S.V.2	D	9
			Beiträge S.G./B.E.		

S.V.1 = Supervisor (1)
S.V.2 = Supervisor (2)

S.G. = Senior Geologist
I.G. = Junior Geologist
M.E. = Mineral Engineer
B.E. = Beneficiation Engineer
L = Liberia
D = Germany

Unsere Aufmerksamkeit gilt dem Teilabschnitt der geologisch-tektonischen Übersichtskarte der Oberguinea-Schwelle, nämlich dem Raum Liberia, Sierra Leone, westliche Elfenbeinküste und Oberguinea. Die in diesem Bereich angetroffenen Gesteinsserien sind aus dem Gliederungsschema des Präkambriums der Oberguinea-Schwelle ersichtlich. Danach gehören die ältesten Gesteine zum Kasila-System, das an der Küste von Sierra Leone ausstreicht. (Bild 7)

Wie man aus der Karte herauslesen kann, ist dieser starre, präkambrische Gesteinssockel nach NE hin verkippt und taucht in N-Richtung ein. Nur so ist das umlaufende Streichen des Unter-Mittel-Präkambriums (I, II) zu erklären. Daher findet man im östlichen Teil dieser präkambrischen Scholle grosse Sedimentmächtigkeiten (3–5.000 m), die Atacorien und Kambui-

Serialen. Alle Eisenerzlagerstätten Guineas, Liberias und Sierra Leones gehören zu den Gesteinsserien des Atacorien und Kambui. Diese Scholle wurde durch zwei Faltungen überprägt, die eine verläuft in NE–SW Richtung, die andere – evtl. die ältere – NW–SE. In ideser Richtung verlaufen sowohl die Flusssysteme als auch die Küstenlinie und die von den Geologen kartierten tektonischen Störungen. (Bild 8)

Durch die Heraushebung und Verkipfung dieser Scholle unter gleichzeitiger Zerstückelung des ganzen Blockes ist zu erklären, warum es an einzelnen Stellen zu Reicherzkappenbildung über Quarzbänder-Erzen gekommen ist oder nicht.

Als Schlussfolgerung hieraus könnte man ableiten,

Gliederung des Präkambriums der Oberguinea-Schwelle

Präkambrium	Schichtfolge	Lithologische Ausbildung	Intrusionen	Eisenerzlagerstätten		
				Sierra Leone	Liberia	Guinea
	1000					
Obere-Präk. III	Tarkwaiien <u>1645</u>					
	2000					
Mittlere-Präk. II	Birimien <u>2000</u> <u>2500</u>	Serizit-Schiefer, Phyllite, Tonschiefer, Muskowit-Schiefer	Granite Basische Gesteine Greenstones	Marampa		
	Atarorien	Serizit- und muskowitführende Quarzite	Basische Intr.			Simandou-Kette Mt. Nimba 3000–5000 m mächtigste Itabirit- führende Serien mit Reicherzkappen
Untere/Mittl. Präk. I/II	Kambui- Schiefer <u>3020–2890</u>	Glimmerschiefer und Eisenglimmerschiefer, Amphibolite, Serpentine, Ghlorit-Schiefer, Phyllite, Amphibol- Schiefer	Granodiorite Granite	Tonkolili Kangari	Mano-River, Bong R., Putu, Bassa, Wologisi	
Diskord.* <u>2800–3000</u>						
Untere-Präk. I	Kasila- System	Hornblende- und pyroxenreiche Biotitgneise Migmatite			Bomi Hills	Migmatite

* Faltung des paläoafrizidischen Raumes

2000 Mio Jahre vor heute
Radiometrische Alterswerte

dass eine Exploration auf Reicherzlagerstätten in bestimmten Gebieten noch Aussichten auf evtl. Erfolg haben könnte.

Die Beobachtungen der grossräumigen Regionalgeologie sind auf die geologischen Detailuntersuchungen der Lokalgeologie der Mano-Lagerstätte übertragbar und im kleineren Massstab durchaus vergleichbar.

Die bauwürdigen Erze der Mano-Lagerstätte sind durch die lateritische Verwitterung während eines feuchtwarmen Wechselklimas aus der Quarzbändererz-Formation angereichert worden. Als Folge dieser Verwitterung ist der Chemismus und das physikalische Verhalten dieser Formation in Mano dahingehend verändert worden, dass Erze mit erheblichen

Tonanteilen vorliegen.

Die Mano-Lagerstätte wird im Osten durch den von SW nach NE sich erstreckenden Hügel 5 (Höhe 1280'), Hügel 4 (1840') und Hügel I (1760') gekennzeichnet und kann als eine einheitliche morphologische Hügelkette angesehen werden, während im Westen der ebenfalls von SW nach NE verlaufende Hügel H (1270') und der im Nordosten benachbarte Hügel A (1640') isolierte Inselberge darstellen wie auch die angrenzenden Hügel E und Hügel V. (Geol. Karte von Mano.)

Die bauwürdigen Eisenerzkappen der Hügel H und 5 liegen in einem Höhenniveau zwischen 160 und 360 Meter, während die Eisenerzkappen der Hügel A und

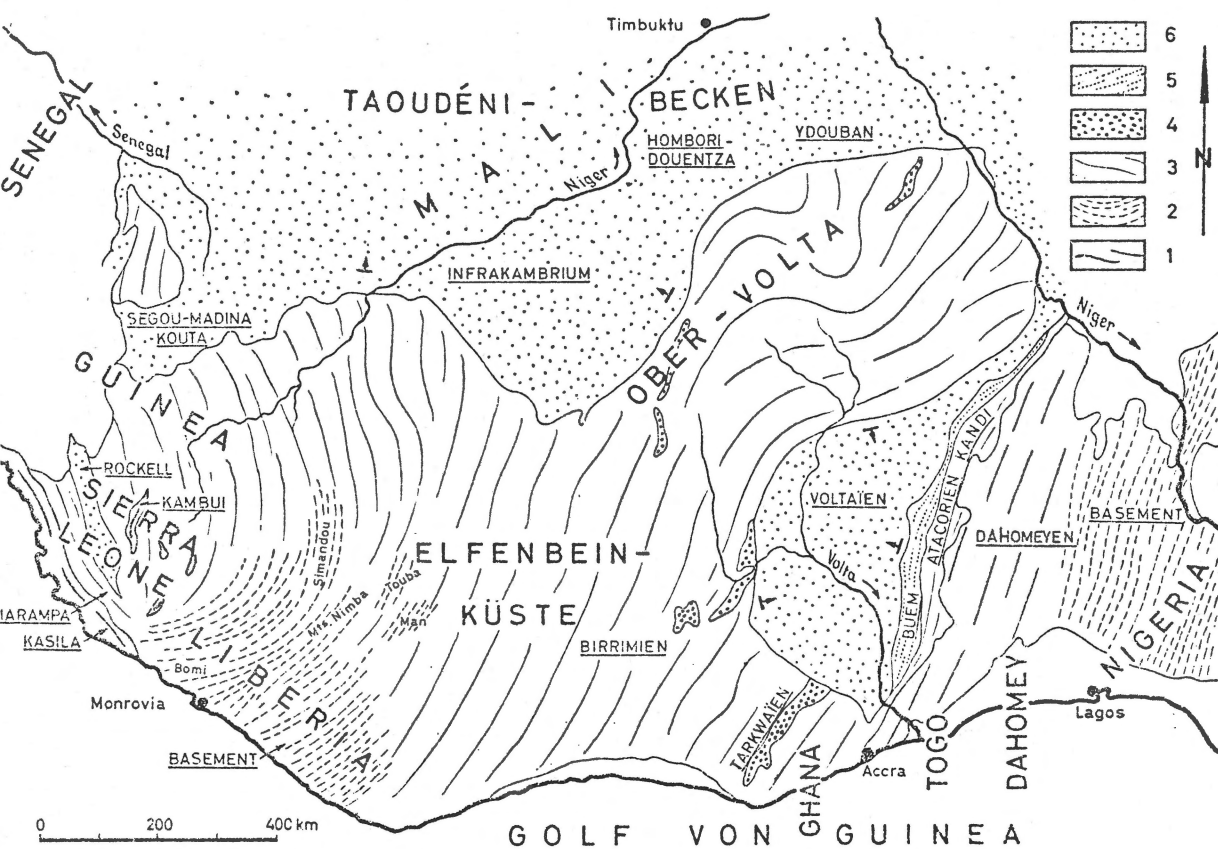


Abb. H-4

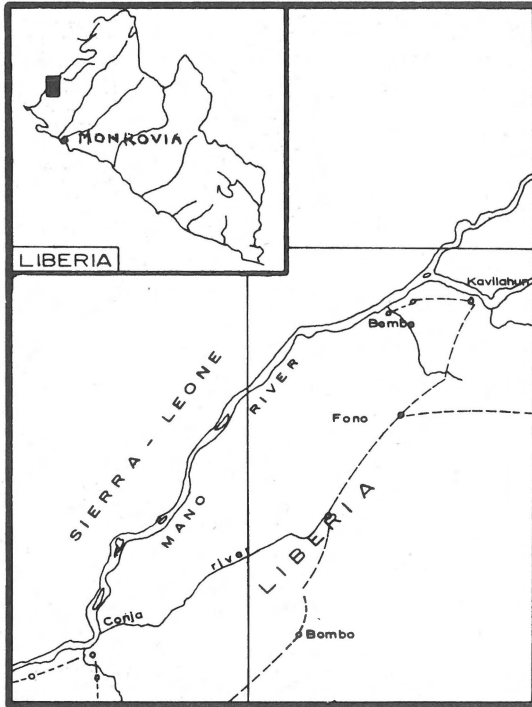
Strukturskizze der Oberguinea-Schwelle. 1 Präkambrium I, 2 ungegliedertes Basement (Liberia, Nigeria) und unsicher eingestufte ältere Serien (Mts. Nimba, Simandou), 3 Präkambrium II, 4 Präkambrium III, 5 unsicher eingestufte jüngere Serien (Buem), 6 Infrakambrium (Taoudéni-Becken) bzw. Infrakambrium bis (?) Paläozoikum (Volta-Becken).

I in einem Höhenniveau von 350 bis 510 Meter auftreten. Daraus könnte gefolgert werden, dass der Südtteil des Mano-Gebietes stärker herausgehoben worden ist als der Nordteil; denn wie auch die geologische Karte und die Profile zeigen, ist im Süden die Eisen-Formation wesentlich weiter abgetragen, und das Basement kommt stärker zum Vorschein als im Norden des Grubenbezirkes. Aufgrund dieser Indikationen ist aus geologisch-tektonischer Sicht anzunehmen, dass man am ehesten im Nordosten der Profillinie A—A' mit weiteren bauwürdigen Eisenerz-

kappen rechnen kann. Auf jeden Fall sollte sich eine mögliche Prospektionstätigkeit in dieser Richtung bewegen. (Bild 9)

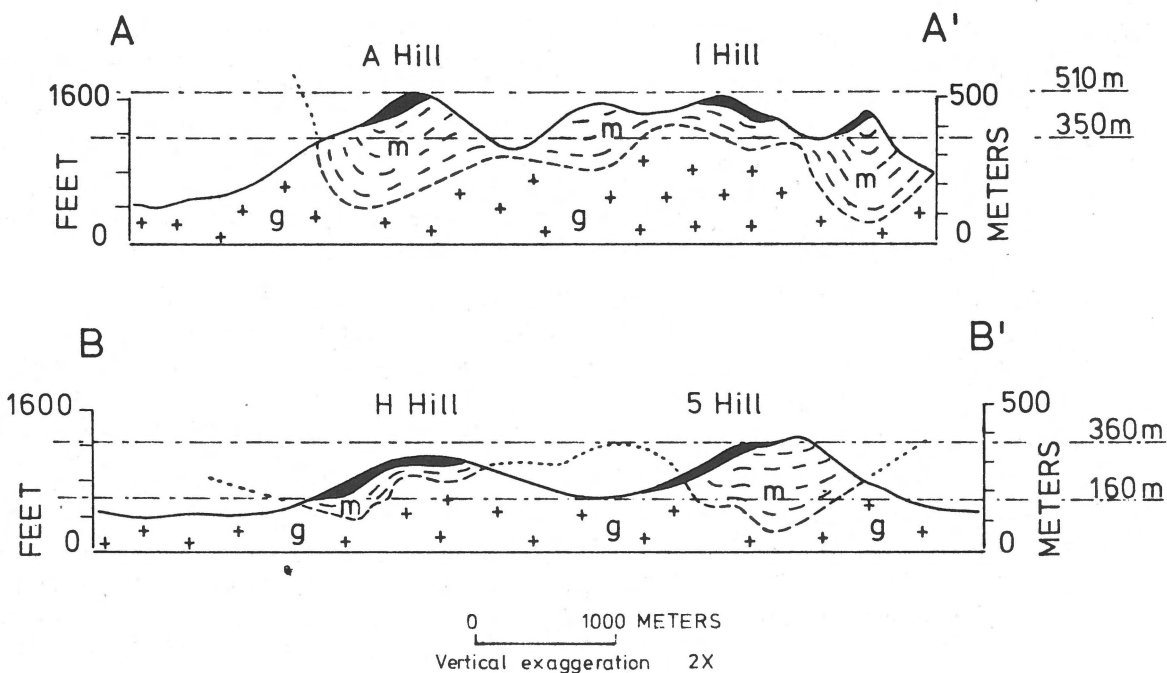
Die geologischen Untersuchungen in Mano ergaben einen stratigraphischen Aufbau, wie er aus dem Tableau abzulesen ist. Danach kann man im Bereich des Mano-Gebietes das *Basement* in zwei lithologische Einheiten unterscheiden. (Bild 10)

- a) Heller, feinkörniger Muskowit-Granit (Granodiorit in weiterem Sinne);
- b) Dunkler, stark chloritisierter Gneisgranit mit inten-






NIOC MANO RIVER MINE-LOCATION MANO-LIBERIA





EXPLANATION FOR MAP AND SECTIONS

-  High - Grade Ores
-  Ultramafic intrusives
-  Iron formation, schist, and amphibolite
- Granite gneiss

PRECAMBRIAN

MANO RIVER

Geologic structure sections inferred from surface data

siver Feldspatblastese (Augengneistextur) und starker anatektischer Überprägung.

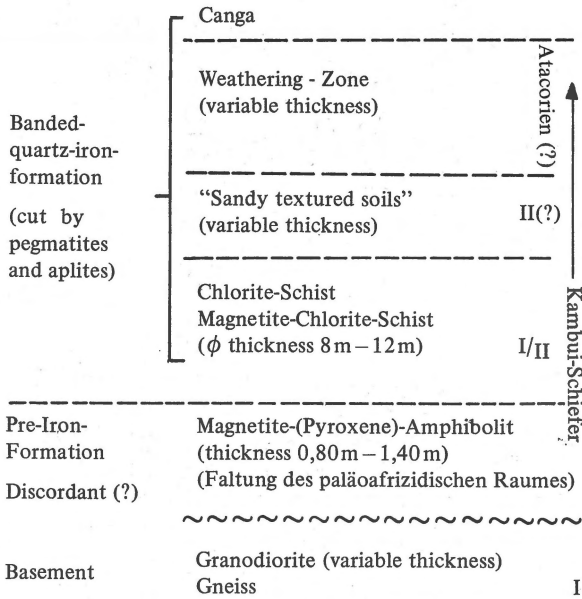
Beide Einheiten verzahnen sich lithofaziell.

Diskordant über dem Basement folgen Pyroxen-Amphibolite mit regelloser Magnetitverteilung. Die Mächtigkeit des Pyroxen-Amphibol-Schiefers beträgt 0,80 m–1,40 m. Mit dem Nachweis der Schwach gebänderten Pyroxen-Amphibol-Schiefer ergibt sich für die Mano-Eisenerzlagerstätte ein Metamorphose-

grad, der höher als die bislang erkannte Amphibolit-Fazies sein dürfte und einen Übergang zur Granulit-Fazies darstellt. Granulite im Gebiet der Mano-Grube wurden auf dem Hügel I in der Bohrung DDH 55/1 nachgewiesen.

Im Hangenden der Pyroxen-Amphibolit-Schiefer liegen die mehr oder minder stark chloritiserten Magnetit-Amphibolite. Sie erreichen eine durchschnittliche Mächtigkeit von 8–12 Meter. Mit

Stratigraphical situation of the Mano area.



dem Einsetzen der Magnetit-Amphibolite beginnt auch eine im mm-Bereich klar erkennbare Feinabänderung, wie sie auch in der Konkordant überlagerten und lithostratigraphischen jüngeren Eisen-Formation auftritt. In den Eisenerzlagern Sierra Leones, Marampa und Tonkolili, sollen in der Kambui-Synklinale ebenfalls Magnetit-Amphibolite an der Basis der Eisen-Formation auftreten (Willson-Marmo, 1958).

Die *Quarzbändererz-Formation* besteht aus mächtigen Magnetit – nun Martit – und Quarzlagen. Im Hangenden der Eisen-Formation treten nur wenige Amphibolit-Einschaltungen auf. Sie durchsetzen "lit par lit" gangartig die Eisen-Formation und werden als präkambrische, nun zersetzte, Diabaskörper angesehen. Sie müssen von den an der Basis der Eisen-Formation befindlichen Magnetit-Amphiboliten sowie von den jüngeren und frischen, diskordanten postpräkambrischen Diabasgängen unterschieden werden; letztere streichen stets in der NW-SE bis WNW-ESE Richtung.

Die gesamte Eisen-Formation wird von leukokraten anatektischen Mobilisaten durchweht. Sie folgen konkordant vorzugsweise den NE-Faltenachsen und können als synkinematische Intrusionen betrachtet werden. Andererseits durchsetzen Pegmatoidgänge diskordant die Eisen-Formation. Jene jüngere Intrusion weist eine nur geringe tektonische Beanspruchung

auf, da sie in das Endstadium der tektonischen Entwicklungen fallen und von keiner Deformation erfasst wurden. Die Pegmatoiden besitzen Granat, Kalifeldspat, Muskowit, wenig Quarz und schwarzen Fe-reichen Turmalin.

Die geologischen und tektonischen Felduntersuchungen ergaben deutlich zwei tektonische Hauptelemente:

- a) Faltenachsen mit NE-SW Streichen und
- b) Faltenachsen mit NW-SE Streichen.

Die Mano-Lagerstätte kann man in zwei tektonische Einheiten untergliedern, nämlich in einen nördlichen Teil, bestehend aus Hügeln H, A und E, und einen südlichen Teil, bestehend aus Hügeln 6, 5, 4 und I. Die morphologisch relativ einheitliche Hügelkette 6, 5, 4 und I ist das Resultat der Hauptfaltung mit NE-SW Streichen. Die mehr inselbergartigen Hügel H, A und E folgen morphologisch nicht der Hauptfaltung. Die geologisch-tektonische Spezialkartierung der Hügel A und H ergibt allerdings, dass auch hier beide tektonische Faltungsphasen gewirkt haben.

Die beiden tektonischen Lineamente (a) und (b) sind mehr oder weniger vergittert, was auch gut aus der geologisch-tektonischen Aufnahme der Hügel A, H und I herauszulesen ist. Die Profile der Hügel A, H und I, die auf der Grundlage der tektonischen Strukturdaten und alter Bohrerergebnisse konstruiert wurden, zeigen eine intensive tektonische Beanspruchung durch die beiden Faltungsphasen (a) und (b). Diese Profile der Hügel A, H und I müssten natürlich noch durch weitere Bohrungen verifiziert werden, um für Vorratsberechnungen die notwendige volle und sichere Aussagekraft zu haben.

Tektonische Beanspruchungen haben im tieferen Untergrund anatektische Mobilisationen zur Folge. Diese anatektischen Schmelzen können entlang vorgegebener Schächezonen aufsteigen. Die beiden oben erwähnten sich vergitternden tektonischen Elementen bilden an den Kreuzungspunkten bevorzugte Aufstiegsbahnen für die anatektischen Mobilisate. Bei der Abbauplanung und Exploration neuer Lagerstätten-teile müssen daher diese tektonischen Elemente berücksichtigt und einkalkuliert werden, um mögliche verdeckte Intrusiva vorzeitig lokalisieren und eliminieren zu können.

In der geologischen Gesamtübersicht wurde gesagt, dass der Südteil des derzeitigen Grubengebietes tektonisch stärker herausgehoben ist als der nördliche

Grubenbezirk. Weitere Explorationsarbeiten zur Vergrößerung des Erzpotentials müssten also die Kammregionen in nordöstlicher Richtung verfolgen. Natürlich sollten auch die Hügel 6, 5 und 4, die in ihren Umrissen ohnehin schon bekannt sind, intensiv untersucht werden.

Die Interpretation der mit Hilfe von Strukturdaten, geologischer Kartierung und älteren Bohrerergebnissen konstruierten Profile der Hügel A, H und I zeigt, dass man hier noch mit größeren Erzreserven rechnen kann, als bislang angenommen wurde. Allerdings ist dafür eine weitere geologische Bearbeitung mit neuen gezielten Bohrungen notwendig.

Aufbereitung

Die Aufbereiter hatten die Aufgabe, aus den offensichtlich verschiedenen Erztypen in der Lagerstätte ein weitgehend homogenisiertes Roherz herzustellen und dieses nach Möglichkeit zu einem verkaufsfähigen Produkt aufzubereiten.

Eine erste makroskopisch-visuelle Bemusterung ergab eine grobe Einteilung in 11 verschiedene Erzsor-ten. Von diesen 11 Erzsor-ten wurde je ein Probenmuster von rd. 150 kg in Liberia vorbereitet und zu ersten Aufbereitungstestversuchen – insgesamt 1.650 kg Probenmaterial – nach Deutschland geflogen. Bei diesen ersten Testversuchen zeigte sich eine Möglichkeit einer Einteilung der Erze in drei verschiedene Erztypen:

Typ III: Harterz (Canga, Krustenerz)

meist als Oberflächenerz auftretend und harte Krusten und grosse Klumpen bildend. Es besteht entweder aus oberflächenhaft angereicherter Eisenformation in dicken Krusten, die häufig Überreste der ursprünglichen Schichtung aufweisen, oder aus einer Mischung von solchen angereicherten Partien mit krustigem limonitischen Laterit.

Dieser Erztyp lässt sich nicht aufbereiten, sein Fe-Gehalt kann durch eine Läuterwäsche, bei dem Tonerde und Limonit abgeschieden werden, nur um 2% Fe gesteigert werden. Fe-Gehalte 53–54% Fe nach Wäsche mit Absiebung.

Typ II: Schichtiges Erz (Plaquette, tonig)

meist unterhalb der Oberfläche auftretend, durch Verwitterung von gebänderten Eisenerzen entstanden, mit verhältnismässig hohen Tonerdegehalten. Es tritt

in den Stößen in Form plattiger sedimentärer Schichten von brauner Farbe auf. Seine Konsistenz hängt vom Umfang limonitischer Krusten innerhalb der Schichten ab. Neben Limonit kann Hämatit und sogar Magnetit vorkommen als Überreste ursprünglich eisenreicher Bänder, die Plaquettes und dünn geschichtetes Erz bilden.

Dieser Erztyp war aufbereitbar bis zu Gehalten $\pm 60\%$ Fe.

Typ I: Sandiges Erz

tritt meist in dicken Bänken auf als tieferer Teil der gesamten Eisenformation, eingelagert in schichtige Erze. Durch Verwitterung ist Quarz teilweise fortgeführt worden, wodurch eine lose Mischung aus Eisenmineralen und Gangartmineralen, hauptsächlich Quarz, entstanden ist. Die Farbe variiert von braun zu graugrün und grünlich. Haupterzminerale sind zu Martit umgewandelter Magnetit und Hämatit. Stellenweise treten schwarze Bänder auf, die durch sekundäre Manganminerale gefärbt sind.

Dieser Erztyp liess sich zu Konzentraten $\pm 62\%$ anreichern.

Um die Verteilung der Erztypen über die ganze Lagerstätte bestimmen zu können, wurden im Einklang mit der geologisch/tektonischen Aufnahme systematisch Proben entnommen, etwa alle 100 m, eine Schlitzprobe über 20 km Strossen. Insgesamt waren es 181 Proben mit einem Gesamtgewicht von 700 kg.

Diese Proben wurden vorsortiert, abgesiebt, Schwerentrennung mit der Sink-Schwimm-Methode (Bromoformentest) durchgeführt und chemische Analysen der Erze und deren Produkte gemacht.

Dabei zeigte sich folgendes Resultat:

Typ	Fe-Gehalte (Roherz)	Fe-Gehalte + 3 M (6,6 mm)	Überkorn Gew. %	Sink-Schwimm Unterkorn – 3 M	
				Fe-Gehalte (Sinkgut)	Gew. % (Sinkgut)
I	54,8%	58,1%	10,8%	64,4%	49,1%
II	53,8%	53,8%	13,9%	61,9%	41,8%
III	50,2%	50,9%	16,0%	53,7%	39,5%

Diese durchgeführten Serienversuche zeigten die Aufbereitungseigenschaften, die sich zu den drei Erztypen zuordnen liessen. Danach konnten in einem Grossversuch in Deutschland (Pilotversuch) an 3 t

Probenmaterial das Aufbereitungsverhalten im Grossmassstab belegt werden. Die Serientests und der Grossversuch ergaben nach Auswertung aller ermittelten Daten Übereinstimmung.

Die Ergebnisse gestatteten einen Entwurf der zukünftigen Produktionsplanung und Anlage.

Bergbau

Basierend auf den Ergebnissen der Erztypenbestimmung, der Kartierung, der Aufbereitungstests und des Aufbereitungspilotversuchs wurde die mögliche

Produktion unterschiedlicher Erze und Konzentrate berechnet. Die Vorräte an Roherz der drei verschiedenen Erztypen wurden dann unter Berücksichtigung des selektiven abbaus ermittelt.

Empfehlung

Die Ergebnisse dieser Berechnungen dienten als Basis für die Empfehlung für die zukünftige Betriebsführung unter Berücksichtigung der Abschreibungszeiträume und der Produktionsmethoden.