

**SÜDAFRIKAEXKURSION DER ÖSTERREICHISCHEN
MINERALOGISCH GESELLSCHAFT
(1. - 21. FEBRUAR 1993)**

von

Friedrich Koller⁺ und Leopold Weber⁺⁺

Exkursionsablauf:

Montag, 1. Februar: Abflug Wien über London;

Dienstag, 2. Februar: Ankunft Jan-Smuts Airport/Johannesburg, Besuch der Chamber of Mines und Einführungsvortrag über den Südafrikanischen Bergbau, Organisation und Aufgaben der Chamber of Mines, anschließend Weiterfahrt nach Rustenburg.

Mittwoch, 3. Februar: Bafokeng South Mine der Impala Ltd (Bushveld-Complex, Weiterfahrt nach Thabazimbi.

Donnerstag, 4. Februar: Rooiberg Tin, Weiterfahrt nach Phalaborwa.

Freitag, 5. Februar: Befahrung des Tagbaues Palabora (Cu, Apatit, Vermiculit).

Samstag, 6. Februar: Kruger National Park. Nächtigung Letaba Camp.

Sonntag, 7. Februar: Kruger National Park, Nächtigung Berg-en-Dal Camp.

Montag, 8. Februar: Barberton (Au), Weiterfahrt nach Johannesburg.

Dienstag, 9. Februar: Johannesburg.

Mittwoch, 10. Februar: Stilfontein (Anglovaals Hartebeetfontein Gold Mine), Weiterfahrt Kuruman.

Donnerstag, 11. Februar: Finsch Diamond Mine in Lyme Acres, Rückkehr nach Kuruman.

Freitag, 12. Februar: Sishen Iron Ore Mine; Rückkehr nach Kuruman.

Samstag, 13. Februar: Hotazel (Samancor's Mamatwan Mine), Weiterfahrt nach Upington.

Sonntag, 14. Februar: Besuch des Augrabies National Parks und der Augrabies Fälle, Weiterfahrt nach Poffader.

⁺ tit. Ao.Prof. Univ.-Doz. Dr. Friedrich Koller
Institut für Petrologie
Univ. Wien - Geozentrum
Althanstraße 14, A-1090 Wien

⁺⁺ MR. Univ.-Doz. Dr. Leopold Weber
Oberste Bergbehörde, BM für Wirtschaftliche Angelegenheiten
Landstraßer Hauptstraße 55 - 57, A-1031 Wien

Montag, 15. Februar: Gold Fields' Black Mountain Mineral Development Company (Pty), Weiterfahrt nach Nababeep zum Camp der Gold Fields' O'okiep. Copper Company Limited.

Dienstag, 16. Februar: Obertagsbefahrung des Kupfer-Districts (O'okiep).

Mittwoch, 17. Februar: Abfahrt von Nababeep nach Kapstadt.

Donnerstag, 18. Februar: Tafelberg von Kapstadt und Ausflug zum Kap der guten Hoffnung, Rückkehr nach Kapstadt.

Freitag, 19. Februar: Exkursion Stellenbosch, Rückkehr nach Kapstadt

Samstag, 20. Februar: Exkursion Kirstenbosch, Rückflug Wien über London.

Sonntag, 21. Februar: Ankunft in Wien.

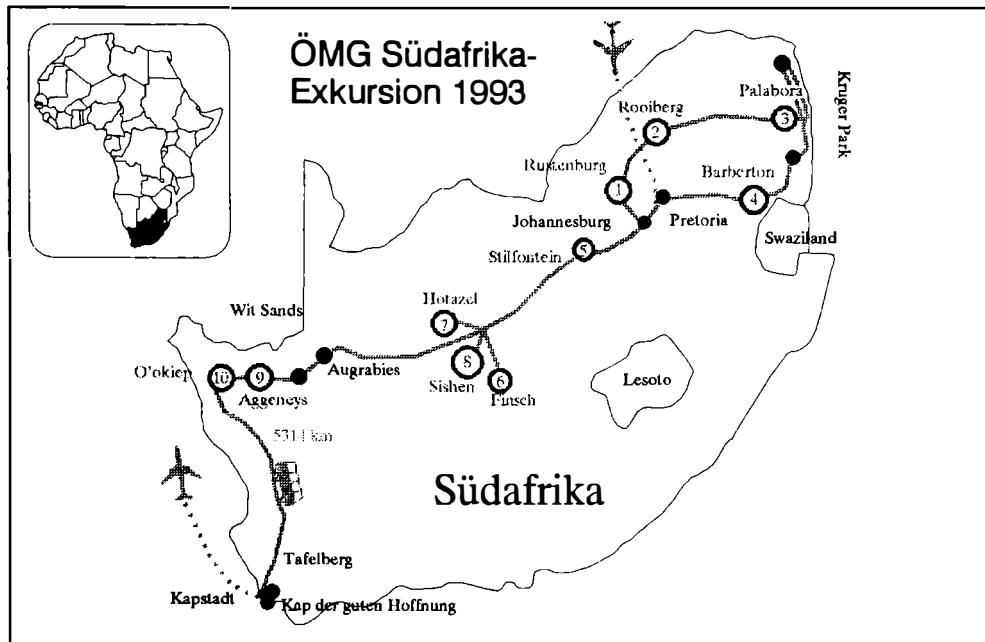


Abb. 1: Exkursionspunkte und -route in Südafrika, die nummerierten Punkte entsprechen den befahrenen Lagerstätten und gleichzeitig den einzelnen Kapiteln des folgenden Textes. Punkte ohne Nummern sind geologische oder touristische Haltepunkte.

Einleitung

Dieser Beitrag wurde auf der Basis des Exkursionsführers zusammengestellt und mit aktuellen Beiträgen zu den einzelnen Exkursionpunkten (Abb. 1) ergänzt.

Die wichtigsten geologischen Bauelemente des südlichen afrikanischen Kontinents sind **Kratone**, deren sedimentäre Überlagerungen, sowie **Mobile Belts**, die allesamt

im Laufe der geologischen Geschichte zu **Schilden** umgeformt wurden, sind in Abb. 2 schematisch dargestellt.

Zum besseren Verständnis werden diese Begriffe folgendermaßen definiert:

- 1) **Kratone** sind die alte Krustenteile, die aus hochmetamorphen Gesteinsabfolgen (Migmatite, Orthogneise, Granulite) bestehen, weitere charakteristische Bestandteile sind Greenstone-Belts.
- 2) **Mobile Belts** sind tektonisch besonders gekennzeichnete Bereiche, in welchen hochgradige Metamorphosen, Anatexis, Granitintrusionen, vor allem aber eine intensive Verformungen innerhalb eines definierbaren Zeitraumes erfolgten. Sie sind nicht mit Orogenen im klassischen Sinne zu vergleichen.
- 3) Durch derartige tektonische Ereignisse wurden größere stabile Teile der Erdkruste geformt, die als **Schilde** bezeichnet werden.



Abb. 2: Tektonische Hauptelemente Südafrikas aus PRETORIUS & MASKE (1976).

Im Zuge der Exkursion konnten die jeweils charakteristischen Vererzungen der ältesten Krustenteile, der sedimentären Überlagerung, der Intrusionskörper sowie der Mobile Belts studiert und besucht werden (Abb. 1 und 2).

Geologischer Rahmen des Exkursionsgebietes

Der Kaap-Vaal Kraton (Abb. 2), als der größte Kraton Afrikas, entstand durch Akkretion einer Reihe von Krustenteilen. Seine Stabilisierung erfolgte bereits im Archaikum vor rund 2,6 Mrd. Jahren. Charakteristische Bestandteile sind neben Granitgneisabfolgen vor allem Greenstone-Belts, die gemeinsam intensiv verfaltet, hochmetamorph überprägt und schließlich erosiv abgeschliffen worden sind. Bedingt durch die enorme flächige Erstreckung sind im Kaap-Vaal Kraton Gesteine mit einem Alter zwischen 3,6 und 2,8 Mrd. Jahren freigelegt. Während beispielsweise auf dem Kanadischen Schild das Mengenverhältnis granitischer Gesteine zu vulkanogener Abfolgen (Greenstone-Belts) bei etwa 1:2 liegt, liegt das Mengenverhältnis bei den Kratonen des südlichen Afrikas bei etwa 6:1 (ANHAEUSSER, 1976).

Die Kratone werden von tektonischen Lineamenten durchzogen, deren Streichrichtung überwiegend in ENE-WSW Richtung verläuft (Abb. 3, z.B. Zambezi-Lineament, Soutpansberg-Lineament, Murchison-Lineament, Barberton-Lineament usf.). Weitere prägende tektonische Elemente verlaufen NNE-WSW. Das bedeutendste Lineament wird beispielsweise durch den Great-Dyke gekennzeichnet, der im Rhodesischen Kraton als Folge einer Zerrungstektonik entstand. Im Kreuzungsbereich derartiger verschiedener Lineamente kam es zum Aufdringen von Intrusivkomplexen, deren größter zweifelsfrei der Bushveld-Komplex ist. Das Alter der einzelnen Intrusivkörper ist unterschiedlich und nimmt von N gegen S ab. Während der Great-Dyke vor ~ 2,5 Mrd. Jahren entstanden ist, wird das Alter des Bushveld-Komplexes mit ~ 2 Mrd. Jahren angegeben. Die Bildung des Palabora-Karbonatitkomplexes erfolgte ebenfalls vor ~ 2 Mrd. Jahren. Der Vredefort Dome bildete sich vor rund 1,95 Mrd. Jahren, der Trompsburg Igneous Complex vor etwa 1,4 Mrd. Jahren.

Die Kratone werden von jüngeren Sedimenten überlagert. Dabei sind die ältesten Gesteine, die den Kaap-Vaal Kraton diskordant überlagern, die Abfolgen der Pongola-Sequence. Diese Gesteinssequenzen wurden im Zuge der Kheis-Tektonogenese vor ~ 2,5-3,0 Mrd. Jahren intensiv verfaltet, metamorph überprägt und von Graniten intrudiert. In der nachfolgenden tektonischen Ruhepause werden nunmehr die Abfolgen des Dominion Reefs sowie des Witwatersrand- und des Ventersdorp-Systems abgelagert. Mit beginnender Sedimentation des Transvaal-Systems vor ~ 2,1 Mrd. Jahren setzten erneute Krustenbewegungen ein, die schließlich zur Bildung des Limpopo-Belts führten und in mehrfacher Hinsicht einen Zerfall des ursprünglich offensichtlich zusammengehörenden Kaap-Vaal und Rhodesischen Kratons einleiten. Die tiefgreifenden Krustenbewegungen erreichen mit dem Aufdringen basischer bis ultrabasischer Magmen im Great-Dyke sowie im Bushveld-Massiv einen vorläufigen Höhepunkt.

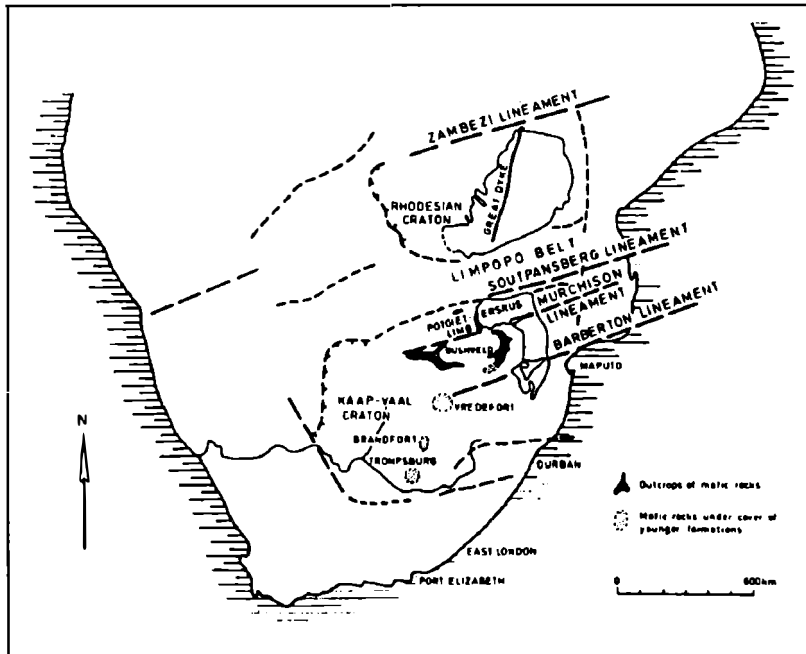


Abb. 3: Tektonische Lineamente im südlichen Afrika nach KLEMM et al. (1982).

Nach einer längeren Phase geringerer tektonischer Beanspruchung setzten am westlichen Rande des Kaap-Vaal Kratons intensive Scherbewegungen ein, die mit einer ausgeprägten magmatogenen Aktivität in der Namaqua-Tektogenese (1,2 - 0,9 Mrd. Jahre) ihren Höhepunkt finden. Mit dieser Namaqua-(Kibara)-Tektogenese wird geotektonisch das Ende des Mittelpräkambriums eingeleitet. Durch die Versteifung der Mobile Belts entsteht in Südafrika der Kalahari-Schild, in Zentralafrika der Kongo-Schild. Im späten Präkambrium erfolgten schließlich zwei tektonische Episoden, die etwa vor 0,7 Mrd. Jahren einsetzten und bis vor 0,4 Mrd. Jahren andauerten. Es entstanden geosynklinalähnliche Sedimentationströge, aus denen das Damaraorogen im SW Afrikas hervorging.

Südafrika als Rohstoff- und Bergbauland

Die Republik Südafrika ist ein bedeutendes Rohstoffland. Auf Grund des geologischen Aufbaues verfügt Südafrika nicht nur über ein breites Rohstoffspektrum, sondern auch über große Lagerstätten. Bei einer Reihe von Rohstoffen, unter ihnen auch strategisch bedeutsame, ist Südafrika der weltgrößte Produzent oder liegt unter den ersten drei Produzentenländern. Diese Daten wurden in Tab. 1 zusammengefaßt:

Produkt	Land	Produktion 1991	Anteil in % Weltproduktion	kum. Anteil in % Weltproduktion
Chrom	RSA	1 984 380	37,38	37,38
	USSR	1 620 000	30,52	67,90
	Türkei	300 000	5,65	80,52
Mangan	USSR	4 175 500	43,62	43,62
	RSA	1 258 420	13,15	56,77
	Gabun	1 100 000	11,49	68,26
Titan	Kanada	896 000	22,61	48,27
	Australien	1 016 800	22,66	25,66
	RSA	680 000	17,16	65,42
Vanadium	RSA	27 628	54,55	54,55
	USSR	14 000	27,64	82,20
	China	5 000	9,87	92,07
Gold (in kg)	RSA	599 194	27,99	27,99
	USA	289 885	13,54	55,32
	USSR	230 000	10,74	66,06
Platin (in kg)	RSA	142 861	51,72	51,72
	USSR	110 000	39,82	91,55
	Kanada	10 955	3,97	95,51
Vermiculit	RSA	214 656	39,55	39,55
	USA	168 000	30,96	70,51
	USSR	120 000	22,11	92,62
Zirkon	Australien	293 000	37,93	37,93
	RSA	220 000	28,48	66,42
	USA	103 140	13,35	79,77

Tab. 1: Rohstoffproduktionsdaten von Südafrika und deren Anteil an der Weltproduktion aus den WELT-BERGBAU-DATEN '93 (WEBER & PLESCHIUTSCHNIG, 1993); RSA für Republik Südafrika.

Tab. 2 gibt eine Zusammenstellung aller Produktionsdaten der wichtigsten Rohstoffe von Südafrika der letzten Jahre und deren relative Änderungen.

Tab. 2: Zusammenstellung der Rohstoffproduktionszahlen Südafrikas aus den WELT-BERGBAU-DATEN '93 (WEBER & PLESCHUITSCHNIG, 1993).

Rohstoff	Einheit	1987	1988	1989	1990	1991	Δ91/87	Δ91/90
Eisen	(t)	14 305 220	16 410 990	19 472 860	19 689 114	18 822 460	31,58	-4,40
Chrom	(t)	1 455 906	1 616 753	1 863 770	1 779 420	1 984 380	36,30	11,52
Kobalt	(t)	0	0	131	127	102	+++	-19,69
Mangan	(t)	1 153 246	1 381 580	1 934 390	1 760 840	1 258 420	9,12	-28,53
Nickel	(t)	29 248	29 217	27 899	28 133	26 900	-8,03	-4,38
Titän	(t)	530 000	584 000	672 000	740 000	680 000	28,30	-8,11
Vanadium	(t)	28 458	31 473	33 144	30 535	27 628	-2,92	-9,52
Aluminium	(t)	170 600	170 400	165 900	157 500	169 400	-0,70	7,56
Antimon	(t)	6 301	5 917	5 201	5 255	4 176	-33,72	-20,53
Kupfer	(t)	188 088	168 452	181 854	178 704	184 556	-1,88	3,27
Blei	(t)	93 642	90 233	78 171	69 417	76 262	-18,56	9,86
SEE	(t)	0	0	800	900	1 000	+++	11,11
Zinn	(t)	1 438	1 365	1 306	1 042	1 140	-20,72	9,40
Zink	(t)	112 686	89 551	77 334	74 792	64 425	-42,83	-13,86
Gold	(kg)	601 775	618 300	605 466	602 999	599 194	-0,43	-0,63
Platin	(kg)	127 980	131 592	132 289	141 913	142 861	11,63	0,67
Silber	(kg)	208 118	199 746	179 829	161 003	170 832	-17,92	6,10
Asbest	(t)	135 074	145 678	156 625	145 791	148 525	9,96	1,88
Beryt	(t)	8 617	8 735	8 570	2 490	4 790	-44,41	92,37

Tab. 2: Fortsetzung.

Rohstoff	Einheit	1987	1988	1989	1990	1991	Δ91/87	Δ91/90
Bentonit	(t)	48 953	66 750	62 987	66 059	64 600	31,96	-2,21
Diam. (Gem)	(c)	3 620 350	3 402 510	3 646 350	3 483 290	3 368 300	-6,96	-3,30
Diam. (Ind)	(c)	5 430 535	5 103 762	5 469 530	5 224 941	5 052 484	-6,96	-3,30
Diatomit	(t)	194	199	133	2 798	2 352	1112,37	-15,94
Feldspat	(t)	66 513	80 992	52 964	56 124	70 324	5,73	25,30
Fluorit	(t)	316 606	328 421	368 340	311 032	270 341	-14,61	-13,08
Gips/Anhy.	(t)	349 079	372 169	406 743	390 765	420 146	20,36	7,52
Kaolin	(t)	151 730	175 033	139 711	132 421	134 485	-11,37	1,56
Magnesit	(t)	74 961	74 088	75 695	114 182	92 634	23,58	-18,87
Perlit	(t)	0	0	0	200	41	+ + + + +	-79,50
Phosphat	(t)	944 280	1 125 830	1 170 245	1 131 000	1 200 000	27,08	6,10
Kalisalz	(t)	700	850	850	850	800	14,29	-5,88
Salz	(t)	705 531	678 225	692 391	728 110	664 624	-5,80	-8,72
Schwefel	(t)	577 320	613 004	681 505	683 188	516 844	-10,48	-24,35
Talk	(t)	11 472	13 273	15 538	13 938	12 683	10,56	-9,00
Vermikulit	(t)	228 863	209 177	224 500	220 311	214 656	-6,21	-2,57
Zirkonium	(t)	115 000	140 000	140 000	190 000	220 000	91,30	15,79
Steinkohle	(t)	176 545 786	181 359 759	176 282 769	174 783 561	178 196 277	0,93	1,95
Uran	(t)	4 676	4 480	3 456	2 875	2 039	-56,39	-29,08

Die Vererzungen Südafrikas

Die ältesten überhaupt bekannten Vererzungen der Erde liegen in den sog. Greenstone-Belts (z.B. Barberton Greenstone Belt). Diese charakteristischen Lagerstätten beziehen ihre Wertminerale aus dem Nebengestein, wobei die Anreicherung entlang von Scherzonen durch Lateralsekretion zufolge jüngerer Intrusionsereignisse erfolgt (*Barberton*). Derartige Gesteinsabfolgen einschließlich ihrer Vererzungen wurden erodiert und fluviatil verfrachtet. Durch Anreicherung von Wertmineralen in (fossilen) Seifen kam es zur Bildung der bekannten oligomikten Konglomerate des Witwatersrandtyps (*Stilfontain*). Derartige Vererzungen konnten sich nur unter reduzierenden Bedingungen bilden und stellen somit zumindest einen besonderen, zeitlich begrenzten Lagerstättentyp dar.

Im Zuge der Bildung der sedimentären Überlagerung kam es aufgrund der in diesem Zeitraum herrschenden physikochemischen Rahmenbedingungen (Abwesenheit von Sauerstoff in Atmosphäre und Meerwasser) auch zu Lösungsphänomenen aus den Sedimenten, die zur Bildung gewaltiger Lagerstätten des Eisens und des Mangans führten (*Sishen, Hotazel*).

Zerrungstektonik bewirkte schließlich das Zerschneiden der bereits konsolidierten Kratone. Die Intrusion von großen Mengen an Mantelschmelzen war die Folge. In diesem Zusammenhang entstanden die liquidmagmatischen Vererzungen des Bushveld-Massivs (*Bafokeng*), aber auch die des Great Dykes (Abb. 3). Als späte Intrusionsereignisse bildeten sich in Graniten heißhydrothermale, gelegentlich auch greisenähnliche Zinnvererzungen (*Rooiberg*). Auf die tiefreichende Zerrungstektonik ist auch die Entstehung des Karbonatitstockes von *Palabora* zurückzuführen.

In den jüngeren Mobile Belts setzte eine bemerkenswerte plutonische Aktivität ein. An die Noritkomplexe des Namaqua-Mobile Belts sind eine Reihe von disseminierten Pt-führenden Cu-Vererzungen gebunden (*O'okiep*). Durch submarinen basischen Vulkanismus bildeten sich polymetallische Vererzungen des SEDEX-Typs (*Aggeneys*). Auf ganz junge tektonische Phänomene gehen schließlich die Kimberlitintrusionen zurück (*Finsch*).

Beschreibung der einzelnen Exkursionspunkte

1. Chromit-Platinvererzungen des Bushveldmassivs

Der innerhalb des Transvaal-Beckens gelegene Bushveld-Komplex stellt eine über 9 km mächtige Abfolge zumeist ultrabasischer Gesteine dar. Der Bushveld-Komplex ist ein differenzierter Magmenkomplex, dessen Ausbisse sich auf mehrere hundert Kilometer (460 km E-W, 330 km N-S) verfolgen lassen. Dieser Gesteinskomplex liegt im nördlichen Bereich des Kaap-Vaal Kratons im Kreuzungsbereich ENE-WSW und NNE-SSW streichender Lineamente. Die ENE-WSW streichenden Lineamente sind beispielsweise das Soutpansberg-, Murchison- bzw. das Barberton Lineament. Als bedeutendstes NNE-SSW streichendes Lineament gilt der Great-Dyke, der im Rhodesischen Kraton ebenfalls als wichtiger Chromerzträger bekannt ist.

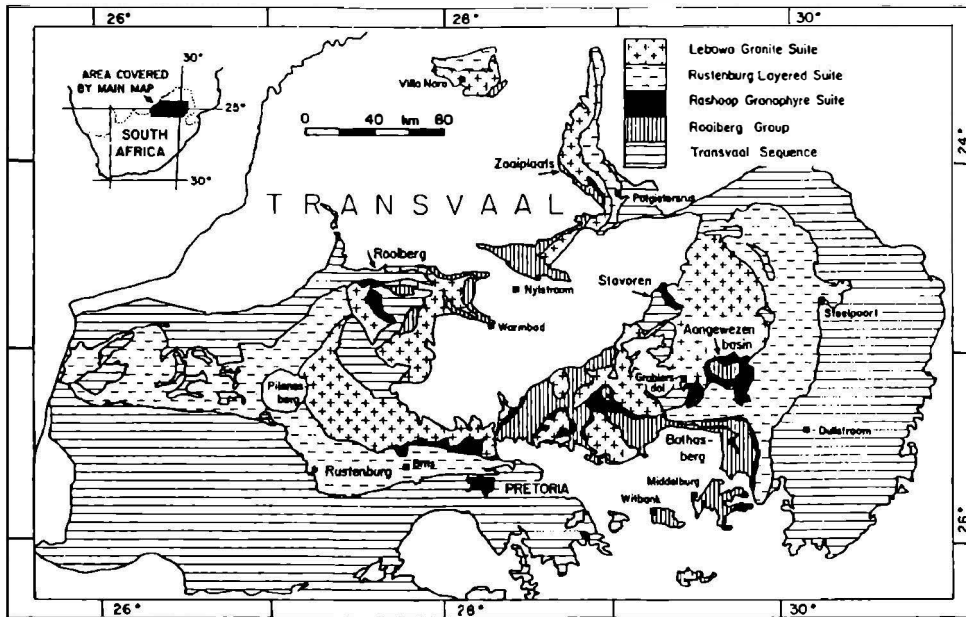


Abb. 4: Vereinfachte geologische Karte des Bushveld-Komplexes nach WALRAVEN (1985).

Die "Layered Sequence" des Bushveld-Komplexes wird vom Liegenden zum Hangenden üblicherweise in 4 Zonen untergliedert: Basal-Zone (1), Critical-Zone (2), Main-Zone (3) und Upper-Zone (4); Abb. 4 und 5 zeigen schematische Profile durch diesen Gesteinskomplex.

Die schichtkonkordanten Chromitvererzungen, darunter auch das bekannte platin-erzführende Merensky-Reef sind ausschließlich an die Critical-Zone gebunden. In dieser sind 29 stratiforme Chromitflöze entwickelt. Die bis zu 1100 m mächtige Critical-Zone wird in eine Untere und eine Obere Subzone untergliedert. Während die Untere Subzone vorwiegend aus Pyroxeniten, Duniten und Harzburgiten besteht und die Liegende Chromitgruppe enthält, setzt sich die Obere Subzone vorwiegend aus Noriten, Gabbronoriten und Anorthositen zusammen. Sie führt die Mittlere und Hangende Chromitgruppe.

Die Mächtigkeit der einzelnen Vererzungen, von wenigen Zentimetern bis zu einigen Dezimetern, ist gemessen an der enormen horizontalen Erstreckung von über hundert Kilometern überraschend gering. Die Chromitvererzungen sind liquid-magmatischer Entstehung und stellen jeweils stratiforme Anreicherungen des Erstdifferentiats Chromit dar, welcher durch gravitatives Absinken angereichert wurde.

Die Chromit-(Spinell)-Bildung wird in erster Linie durch den Sauerstoffpartialdruck kontrolliert. ROEDER & HILL (in SNETHLAGE & GRUENEWALDT, 1977) konnten an Hand der Chromitvererzungen nachweisen, daß eine Bildung von Spinellen nur unter ganz bestimmten Temperaturbedingungen in Abhängigkeit vom Sauerstoffangebot erfolgen kann. Werden diese Grundbedingungen nicht erfüllt, wird das verfügbare Cr in das Gitter anderer Minerale (z.B. Pyroxen) eingebaut. Ein erhöhter Chromgehalt im Nebengestein ist die natürliche Folge. Als hangendste Vererzung gilt das bekannte Pt-führende Merensky-Reef. Diese Vererzung führt neben Chromiten auch Sulfide und gilt als die bedeutendste Pt-Resource der Welt.

Die Upper Group enthält das UG 1 und das UG 2 Reef. Während das UG 1 Reef im Bereich der Lagerstätte nicht abbauwürdig ist, erreicht das UG 2 Mächtigkeiten zwischen 60 und 80 cm. Diese sulfidführende Chromitvererzung enthält bis zu 6 g/t Platinmetalle, wobei Rhodium das dominierende Wertmetall darstellt. Diese Lagervererzung liegt in einer Abfolge von Anorthositen im Liegenden und Pyroxeniten im Hangenden.

In der darüberfolgenden, lediglich 10 m mächtigen Merensky-Einheit liegt das bekannte Merensky-Reef. Dieses setzt an der Basis der Einheit auf. Die Vererzung erreicht lediglich Mächtigkeiten von ca. 2 cm. Das Liegende wird von grobkörnigen "pegmatoiden" Gesteinen, das Hangende von Pyroxeniten gebildet. Nebengestein und Vererzung fallen im gesamten Bergbaubereich mit rd. 9° äußerst flach gegen ENE ein.

Die Bergbaue der Impala Platinum Mines liegen knapp nördlich von Rustenburg. In vier Gruben (Bafokeng S, Bafokeng N, Wildebeestfontain N, Wildebeestfontain S) werden die Vererzungen der Upper Group sowie das weltbekannte Merensky-Reef abgebaut. Die Lagerstätte wird durch mehrere Saigerschächte erschlossen. Der Abbau dieser geringmächtigen, nahezu söhlig liegenden Vererzung erfolgt in einer Modifikation eines zweiflügeligen Strebbaues. Die von den Förderstrecken abgehenden Abbauhohlräume werden entsprechend der geringen Lagermächtigkeiten mit max. 1,5 m äußerst niedrig gehalten, um nicht den Metallgehalt des Hauwerks zu sehr zu verdünnen. Die Firstflächen der großflächigen Weitungen werden durch Holzkästenzimmerung gesichert.

2. Rooiberg

Die Zinnvererzungen von Rooiberg liegen ca. 60 km westlich von Warmbaths in West-Central-Transvaal (Abb. 4). Ein dreiecksförmiges Zinnfeld erstreckt sich über eine Fläche von 180 km². Auf diesem Gelände waren 4 Gruben in Betrieb, die bei Rooiberg, Vellefontein und Leeuwpoort gelegen sind.

Schon vor 500 Jahren wurde in diesem Gebiet um den Rooiberg Zinn abgebaut (Late Southern African Iron Age). Altes Grubenholz, das als Zimmerung in den Schächten benutzt wurde, konnte mit 1515 AD (FRIEDE & STEEL, 1976) datiert werden. Diese frühen Abbautätigkeiten endeten Mitte des 19. Jahrhunderts. Erst im Zuge neuer Prospektionstätigkeiten entdeckte man die Relikte des alten

Bergbaues und erkannte den Sn-Reichtum dieses Gebietes. Schon im historischem Bergbau wurden aus errechneten 180000 t Erz ca. 1000 t Zinn gewonnen, die mit primitiven Werkzeugen und Feuersetzung in bis zu 20 m untertags liegenden Abbauen gewonnen wurden.

Die moderne Abbautätigkeit begann zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Seit 1960 gehört die Rooiberg Minerals Development Company der Gold Fields of Southern Africa Group an. Die seit 1979 bestehende Gesellschaft Rooiberg Tin Limited kontrolliert die 4 aktiven Gruben des Rooibergfeldes: Rooiberg (A Mine), Nieuwpoort (B Mine), Vellefontein und Leeuwpoort (C Mine). Die jährliche Produktion beträgt 500000 t Erz mit einem Zinngehalt von 0,4% Sn, damit deckte Rooiberg Tin Ltd. etwa 1 % des Weltbedarfs an Zinn ab. In den letzten Jahren wurden monatlich 20000 bis 25000 t Erz mit einem Zinngehalt des Erzes zwischen 0,5 und 0,7 %, der nur selten 1 % überschritt, abgebaut. Die Schließung des Bergbaues stand unmittelbar bevor.

Die Zinnvererzung ist an das Rooiberg-Fragment, eine dreiecksförmige Einheit der Uppermost Transvaal Sequence, gebunden. Diese Sedimentabfolge liegt im westlichen Gebiet des Bushveld Komplexes und wird von den Granitintrusionen der Lebowa Granite Suite umgeben. Diese wurden vermutlich während der Intrusion der sauren Phase des Bushveld Complexes (2,095 - 1,760 Mrd. a) gebildet.

Die Abfolge des Rooiberg Fragment ist in Tab. 3 zusammengestellt, weiters findet man noch jüngere Gänge und Sills mit unterschiedlichem Alter und Zusammensetzung. Es sind dies vor allem andesitische und felsitische Gänge, die jüngeren doleritischen und gabbroiden Gänge sind in Verbindung mit dem Karoo-Vulkanismus zu sehen.

Die meisten bekannten, sowie alle wirtschaftlich bedeutenden Zinnvorkommen des Rooiberg-Fragments treten im Hangendbereich der Boschoffsberg Quartzite und in der tonig-arkosischen Blaauwbank Tonschiefer Serie auf. Die verschiedenen Einheiten fallen mit 10°- 20° relativ flach ein, weiters können flache Synklinalen und Antiklinalen beobachtet werden.

Man kann eine Verbindung zwischen der Zinnmineralisation und drei wichtigen Bruchzonen, welche sich über das Rooiberg-Fragment hinaus erstrecken, ableiten. Die meisten dieser Bruchzonen sind steil einfallend, eine ist jedoch durch flach einfallende Brüche entlang von Schichtflächen charakterisiert. Alle Gesteine des Boschoffsberg Quarzits lassen Zeichen von Rekristallisation erkennen, die möglicherweise auf eine Albit-Epidot-Hornfels-fazielle Kontaktmetamorphose zurückzuführen ist. Im Lagerstättenbereich ist auch noch eine stark ausgeprägte Metasomatose zu beobachten.

Die Zinnvererzungen von Rooiberg werden in Bezugnahme auf ihre Lagerung in 1) gleichförmige und schichtkonkordante sowie in 2) ungleichförmige und schichtdiskordante Mineralisationen unterteilt. Bei ersteren handelt es sich um flache schichtartige Erzkörper mit einem Einfallen von 10° - 20° nach E oder SE und einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 10 - 15 cm sowie mit einer frei in den

Raum wachsenden Mineralisation. Die verbreitetsten Mineralphasen in den erzführenden Flözen sind Kalifeldspat, Chlorit, Pyrit, Cassiterit, Sericit, Quarz, Chalkopyrit, Ankerit, Turmalin und Magnetit. Cassiterit kann oft zoniert und brekziert sein, wobei die Risse mit spätdiagenetischen Mineralen verfüllt sind. Daneben findet man Pocket-ähnliche Mineralisationen mit Hämatit, Turmalin und Cassiterit.

Bushveld Komplex	Lebowa Granit Suite		Nebo Granit
	Rashoop Granophyre Suite		Granophyre mit Xenolithen
Rooiberg Group	Schrikkloof Formation	258 - 1100 m	Porphyrische Felsite
Pretoria Group	Smelterskop Quarzit Formation	275 - 550 m	Quarzite, lokal tuffitische Schiefer, selten andesitische Vulkanite
	Leeuwpoot Formation	1510 - 1700 m	Blaauwbank Tonschiefer und Boschoffsberg Quarzite

Tab. 3: Lithostratigraphische Abfolge des Rooiberg Fragmentes und seiner Umgebung.

Die flächig auftretenden Mineralisationen sind klein in ihrer Ausdehnung und treten oft innerhalb teilweise silifizierter und rekristallisierter Arkosen in der Nähe der Schiefertoneinheit auf. Die intensiven Alterationen im Zusammenhang mit den Verzerrungen kann man als Silifizierung, Serizitisierung, Chloritisierung, Turmalinisierung und Karbonatisierung beschreiben.

3. Palabora

Der altproterozoische Karbonatitkomplex von Palabora liegt in den Lowlands des nordöstlichen Transvaal innerhalb archaischer Gneise und Granite. Der Karbonatitkomplex ist an der Oberfläche auf rund 8 * 3 km aufgeschlossen. Gegen die Tiefe dünnt er aus. Das Entstehungsalter dieser Alkali-Intrusion kann mit rund 2 Mrd Jahren angegeben werden. Der ringförmige, alkalibetonte Intrusionskomplex mit seinem charakteristischen Karbonatkern führt neben disseminierten Kupfererzen (ca. 300 Mio. t mit 0,69 % Cu) noch bemerkenswerte Gehalte an Apatit (17 - 25

Vol.%). Daneben ist auch die Vermiculitführung von großer wirtschaftlicher Bedeutung.

Der Karbonatitkomplex von Palabora, nahe der Stadt Phalaborwa gelegen, ist nicht nur einer der ältesten sondern auch der atypischste Ringkomplex Afrikas. Er stellt heute den größten Tagbau des afrikanischen Kontinents und den zweitgrößten der Welt dar. Dieser Alkali-Intrusionskomplex ist ein N-S gestreckter, unregelmäßig geformter Körper, mit einer Länge von 8 km und einer Breite zwischen 2 und 4 km. Gravitationsmessungen zeigen einen $76^\circ - 80^\circ$ gegen Osten einfallenden zylindrischen Körper. Pyroxenite sind bis zu einer Teufe von 5 km nachgewiesen, der Karbonatit konnte aber nur bis zu einer Teufe von 1,5 km verfolgt werden. Bei diesem altproterozoischen Karbonatitkomplex handelt es sich um eine Folge dreier konzentrisch angeordneter Intrusionskörper, die vor 2050 Mio. Jahren in die archaische Kruste, bestehend aus Granit, Gneis, Quarzit, Granulit, Amphibolit sowie Talk- und Serpentschiefer, eingedrungen sind.

Das Zentrum des nördlichen Abschnittes besteht aus rekristallisiertem Pyroxenit und Serpentin; der darin enthaltene Phlogopit wurde durch Verwitterung teilweise zu Vermiculit umgewandelt. In einer nächsten Stufe intrudierte Phoscorit (Magnetit-Olivin-Apatit-Gestein) südwestlich vom Zentrum des Komplexes, in dem dann schließlich in zwei Stufen Karbonatit intrudierte.

Neuere Studien (FAURIE, 1981; ERIKSSON, 1982; ERIKSSON et al., 1985) an den Feldspat-Pyroxeniten lassen eher einen magmatischen als metasomatischen Ursprung des den Komplex aufbauenden Gesteins erkennen. Im Kontaktbereich zwischen dem archaischen, sauren Krustengestein und dem Intrusionskörper bildete sich ein rosafarbener Syenit mit abnehmendem Siliciumgehalt gegen das Zentrum und dieser geht dann in ein feldspatreiches, pyroxenführendes Gestein über. Dieser Feldspat-Pyroxenit wird heute als Mischung von Pyroxenitmagma und archaischem Granit interpretiert. Der Syenit umschließt mantelförmig den Klinopyroxenit, der mit 70 % Gesamtanteil das vorherrschend Gestein im Intrusionskomplex darstellt. Zwischen Pyroxenit und Feldspat-Pyroxenit sind Hydrobiotit-reiche Gesteine eingeschaltet. Das Erscheinungsbild des Pyroxenits variiert vom massiven Pyroxenit (geringer Glimmergehalt, mit oder ohne Apatit) bis zu Glimmerit (phlogopitreiches, apatitführendes Gestein mit Klinopyroxengehalt $< 25\%$). Die Textur des Klinopyroxenits deutet auf eine gleichzeitige Kristallisation von Klinopyroxen, Phlogopit und Apatit. Der Phlogopit wird nicht so sehr als metasomatische Veränderung von Klinopyroxen oder Olivin gedeutet, sondern vielmehr als das Abscheidungsprodukt eines ultrabasischen Magmas. Drei Pegmatoidkörper, die sich aus Phlogopit, Vermiculit, Diopsid, Apatit und serpentiniertem Olivin zusammensetzen, kommen im Pyroxenit vor. Während der im Nördlichen Pyroxenit vorkommende Pegmatoid relativ großräumig auftritt, ist er im Südlichen Pyroxenit nur sehr kleinräumig ausgebildet. Der zentral gelegene Pegmatoid bildet einen breiten Gürtel um den Loolekop-Karbonatit.

HANEKOM et al. (1965) gibt einen durchschnittlichen Modalgehalt des Phoscorits mit 25 % Apatit, 18 % Karbonat, 35 % Magnetit und 22 % Serpentin, Olivin und Glimmer an. Der Gehalt an Olivin und Magnetit kann von nur Magnetit bis zu nur

Olivin variieren. Mindestens zwei Generationen von Magnetit, in verschiedenem Grad serpentinierte, bis zu einigen cm große Olivine und einige mm große Apatitkristalle mit einem charakteristischen Fehlen von primären "Fluid inclusions" kennzeichnen den Phoscorit. Weiters findet man disseminiert ausstretende, einige cm lange prismatische Baddeleyit-Kristalle sowie Bornit und Chalkopyrit. Weiters den mit bis zu einige % Häufigkeit vorhandenen Calcit, der in feinen Gängchen und als monomineralische Linsen auftritt.

Der Loolekop-Karbonatit stellt den zentralsten und zugleich jüngsten Teil dieses Intrusionskomplexes dar. Es können zwei Perioden von Karbonatitintrusionen unterschieden werden, wobei die Einteilung in einen älteren gebänderten und in einen jüngeren "transgressiven" Karbonatit auf die verschiedenartige Textur und einem unterschiedlichen Sulfidgehalt beruht. Die Hauptsulfidvererzungen sind Chalkopyrit und Bornit, untergeordnet Cubanit, Pyrrhotit sowie verschiedene Nickel-, Kobalt-, Kupfer-, Blei- und Zinksulfide.

Der gebänderte Karbonatit zeigt keine klare Abgrenzung zum umgebenden Phoscorit, die Bänderung ist durch Magnetit verursacht, der in 1 bis 10 mm großen Aggregaten parallel zum äußeren Rand des Karbonatits angeordnet ist und der eine analoge Bänderung wie im Phoscorit verursacht. Der im gebänderten Karbonatit vorkommende Calcit weist einen $MgCO_3$ -Gehalt bis zu 7,5 Gew.% auf und zeigt Dolomit-Entmischungslamellen. Olivin tritt eher selten auf und ist z.T. durch Phlogopit, Monazit und Clinohumit ersetzt. Serpentinisierung tritt nur untergeordnet auf. Bornit als Hauptsulfidmineral kommt disseminiert, tröpfchenförmig in Olivin, Magnetit und Calcit und als linsenförmige Einschaltung parallel zur primären Magnetitbänderung vor.

Der jüngere "transgressive" Karbonatit bildet den Kern des Karbonatitkörpers. Gängchen dieses Karbonatittyps sind sowohl in den gebänderten Karbonatiten und Phoscoriten, als auch in den glimmerführenden Pyroxeniten und Feldspat-Pyroxeniten zu finden. Die im transgressiven Karbonatit vorkommenden Karbonate sind wesentlich Mg-reicher (bis zu 14 % $MgCO_3$). Dolomit kommt in körniger Ausbildung eher untergeordnet vor. Phlogopit, im gebänderten Karbonatit relativ selten auftretend, bildet Phenokristalle, die häufig zoniert sind. Apatit, in idiomorphen Kristallen oder in länglich paralleler Anordnung auftretend, ist ebenfalls häufig anzutreffen. Der Magnetitgehalt ist in beiden Karbonatittypen annähernd gleich. Der Magnetitgehalt kann im selben Gestein innerhalb eines Meters von <1 % bis >90 % variieren.

Der Palaborakomplex wird auf Kupfersulfide, Magnetit, Baddeleyit, Apatit und Uranothorianit gebaut. Zusätzlich wird Vermiculit im zentralen Phlogopit-Serpentinit Körper im Norden des Komplexes abgebaut. Während die Sulfidkonzentration in den gebänderten Karbonatiten (mit Gehalten bis über 1 Gew.% Cu) eher gering ist, weisen die transgressiven Karbonatite wesentlich höhere Sulfidkonzentrationen auf. Die Kupferreserven, bei einem durchschnittlichen Cu-Gehalt von 0,69 % werden auf 300 Mio. t geschätzt. Magnetit, mit bis zu 4 Gew.% TiO_2 und Apatit sind vor allem im Phoscorit abbaubar. Baddeleyit wird im äußeren Phoscorit und Pyroxenit abgebaut und liefert das in der Schleifmittel-Industrie verwendete

Zirkonium. Uranothorianit wird fast ausschließlich im zentralen Teil des Karbonatits abgebaut. Neben Ni, Ag, Au, Pt-Gruppen Metallen, werden noch Se und Te gewonnen.

Die Gewinnung der umfangreichen Erzvorkommen von Palabora erfolgt in drei Tagbauen. Neben der **Fedmis**, einem auf Superphosphatdünger- und Phosphorsäuregewinnung spezialisierten Chemiewerk, sind noch folgende zwei eng zusammenarbeitende Bergbauunternehmen auf demselben Erzkomplex tätig:

- 1) Die **Palabora Mining Corporation**, die zum einen Karbonatit und Phoscorit im Zentrum des Karbonatitkomplexes (Loolekop) auf Kupfer und Magnetit bebaut (beibrechend Nebenprodukte sind Apatit, Gold, Silber, PGE, Baddeleyit, Uranothorianit sowie Nickelsulfate), zum anderen in einem weiteren etwa 1 km nordöstlich vom Kupferbergwerk gelegenen Tagbau das zweitgrößte Vermiculitbergbauunternehmen der Welt betreibt.
- 2) Die **Phosphate Development Corporation Ltd (Foskor)**, die im Foskor-Tagbau, der weltweit größten magmatogenen Phosphatlagerstätte, apatitreichen Pyroxenit gewinnt.

Die Palabora Mining Corporation, fördert seit 1964 ausschließlich im Tagbau; seither wurden weit über eine Milliarde Tonnen Gestein abgebaut und verarbeitet. Die Förderleistung liegt bei 330000 Tagestonnen, davon sind 80000 Tagestonnen Erz. Der Abbau des Karbonatits und des phosphathaltigen Pyroxenits (ein serpentinisiertes, titan- und magnetithaltiges Olivin-Apatitgestein) erfolgt ausschließlich durch die Palabora Mining Corporation, die den phosphathaltigen Karbonatitrückstand an die Foskor liefert und als Gegenleistung von dieser durch Flotation angereicherten Chalkopyrit erhält. Seit den frühen 80-er Jahren beträgt die Jahresproduktion 3,5 Mio. t mit einem P_2O_5 -Gehalt von 36 %, die Reserven an Fluorapatit werden auf $1,3 \cdot 10^{10}$ t geschätzt (de JAGER, 1988).

Palabora besitzt zur Zeit den zweitgrößten Vermiculitabbau der Welt, der Tagbau erfolgt etwa 1 km nordöstlich des Tagbaues mit einer Abbaukapazität von 260000 t/Jahr. Die Abbautiefe beträgt lediglich 40 bis 50 m, da in tieferen Lagen vorwiegend unverwitterter Phlogopit vorliegt. Mit einer Produktion von 12000 Jahrestonnen gilt Palabora außerdem als einziges Bergwerk der Welt, das Baddeleyit in kommerziellen Mengen fördert. Die Gewinnung von Uran und Thorium aus Uranothorianit und der bei der elektrolytischen Raffination des Kupfers anfallende Anodenschlamm, der jährlich über 200 t Gold, Silber, Platin und Palladium liefert, sind mittlerweile zur zweitgrößten Einnahmequelle der Palabora Mining Company geworden. Der als Hauptverunreinigung bei der elektrolytischen Raffination des Kupfers im Elektrolyt verbleibende Nickelgehalt wird aus dieser in Form von reinem Nickelsulfat-Hexahydrat gewonnen.

4. Barberton

Die Goldvererzungen der Barberton Mountains zählen zu den ältesten bekannten Lagerstätten der Erde. Die Vererzungen, die in erster Linie an Scherklüfte gebunden sind, liegen im Barberton Greenstone-Belt innerhalb des Transvaal-Kratons (Abb. 6).

Wie bei den meisten Goldvererzungen dieses Typs wird angenommen, daß die Erstanreicherung des Goldes gemeinsam mit der Bildung der Vulkanitabfolgen erfolgte. Diese primären Metallkonzentrationen (0,005 - 0,02 ppm Au) reichen aber bei weiten nicht aus, wirtschaftlich genutzt zu werden. Saure Intrusionsereignisse im nahen Umfeld des heutigen Lagerstättenbereiches verursachten nicht nur eine bemerkenswerte tektonische Durchbewegung, vielmehr vor allem eine Mobilisation von Fluiden. Dabei wurde offensichtlich das Au des Nebengesteins in das Scherklüftsystem verfrachtet. Die sauren Intrusiva selbst sind mit ihren Au-Gehalten von <0,005 ppm Au keineswegs als direkter Erzbringer anzusehen.

Die Au-Vererzungen der Barberton Mountains sind mit anderen Au-Vererzungen innerhalb von Greenstone-Belts gut vergleichbar (Sigma-Mine/Val d'Or; Kolar Goldfields/Bangalore u.a.m.).

Der Golderzbergbau "New Consort" liegt ca 20 km N der Stadt Barberton. Die Vererzungen liegen in Gesteinsabfolgen der Swaziland-Sequence, die einem granitischem Untergrund auflagert. Diese Swaziland-Sequence wird vom Liegenden zum Hangenden in die Onverwacht Group, die Fig-Tree Group und die Moodies-Group untergliedert.

Die Onverwacht Group besteht aus einer Abfolge bestehend aus ultrabasischen bis basischen Vulkaniten (Komatiite, Amphibolite usw.). Die Gesteine der Fig-Tree Group (Tuffe, Tuffite, Grauwacken sowie klastische Sedimente) überlagern diese Vulkanitabfolgen konkordant. Auch die Gesteinsabfolgen der stratigraphisch höchsten Einheit, der Moodies Group (psammitische Sedimente), liegen konkordant über den Serien der Fig-Tree Group. Obgleich zwar keine Diskordanzen zwischen den einzelnen Einheiten vorliegen, sind die Übergänge zufolge der Gesteinsinhomogenitäten tektonisch überprägt. Innerhalb der einzelnen Gesteinseinheiten bestehen Leithorizonte, die für die Lagerstättensuche von größter Bedeutung sind. Über 95 % der wirtschaftlich interessanten Vererzungen liegen im Grenzbereich der Onverwacht-Group zur Fig-Tree Group.

In die vulkanosedimentären Gesteine der Swaziland Sequence intrudierten Granitkomplexe, deren altersmäßige Mehrphasigkeit mit 3,26 bzw 2,55 Mrd. Jahren deutlich hervorsticht. Die Intrusionskörper sind von der Lagerstätte lediglich 1 - 5 km entfernt. Die von den Intrusionskörpern ausgehenden Fluidfronten führten schließlich zu Lösung und Transport des Goldes aus den Grüngesteinsabfolgen.

Die Vererzungen treten in der Barberton Greenstone-Belt als (1) stratiforme, "massive" Sulfidvererzungen, (2) komplexe, disseminierte Sulfidvererzungen, sowie (3) als Goldquarzgänge in Erscheinung.

Die Mineralparagenese der "massiven", als auch der disseminierten Goldvererzungen besteht vorwiegend aus Arsenkies, Magnetkies und Pyrit. Die wirtschaftlich bedeutendsten Au-Vererzungen liegen allerdings in Form der Goldquarzgänge vor. Innerhalb dieser schwankt der Au-Gehalt zwischen 5 und 70 g/t (Durchschnitt 15 g/t).

Die durchwegs steil stehenden Vererzungen werden mit Schächten im Tiefbau erschlossen. Als Abbaumethode gelangt Cut and Fill zum Einsatz. Jährlich werden rund 80000 t Erz (ca 1000 kg Au) gewonnen. Die hohen Gesteinstemperaturen verbunden mit der hohen Luftfeuchtigkeit ohne ausreichende Kühlung der Wetter gestalten die Arbeiten untertage äußerst schwierig.

5. Witwatersrand (Au)

UTTER (1978) versuchte nachzuweisen, daß die Pyrite aus den gold- und uranföhrhenden proterozoischen Konglomeraten des Oberen Witwatersrand-Beckens auf Grund ihrer Spurenelementverteilung mit solchen Pyriten vergleichbar sind, die auch in den archaischen Barberton-Greenstone-Belts existieren. Allgemein wird daher angenommen, daß u.a. der Bereich des Barberton-Greenstone-Belts ein ehemaliges Liefergebiet der Witwatersrand-Sedimente darstellt (Abb. 6). Diese Greenstone Belts beinhalten klufförmige Goldquarzvererzungen (siehe Barberton).

Die Goldvererzungen des Witwatersrandsystems sind generell an sogenannte "Reefs" gebunden. Diese Reefs sind weitanhaltende, bis zu mehrere Meter mächtige oligomikte Quarz-Konglomeratkörper innerhalb deltaförmiger fluviatiler Schwemmfächer, die in intramontanen Senken zur Ablagerung gekommen sind. Die Matrix der Quarzkonglomerate besteht neben feinstem Quarzdetritus vor allem aus (gerundetem) Pyrit, Gold und verschiedenen Uranmineralen. Bislang sind im Witwatersrand-Komplex sechs derartige Schwemmfächer nachgewiesen worden. Jeder von ihnen repräsentiert dabei eines der größeren Golderzreviere (Abb. 7).

Die Gold-Uran-Vererzungen sind an das Obere Witwatersrand-System gebunden. Dieses wird von vulkanischen Abfolgen des Ventersdorp Systems (diskordant) überlagert. Ein schematisches Profil aus dem Klerksdorp Revier zeigt die Abbildung 8.

Die Bergbaue im Witwatersrandgebiet zählen zu den tiefsten Gruben der Welt. Die enormen Tiefen stellen u.a. ein technisches Problem bei der Förderung dar (mehrfach gebrochene, somit kostenaufwendige Schachtförderung).

Darüberhinaus ist ein überdurchschnittlich hoher Energieaufwand für die Kühlung der Abbauorte erforderlich. Die Gruben des Witwatersrands gelten auf Grund der felsmechanischen Eigenschaften des Nebengesteins als bergschlaggefährdet. Der hohe technische Aufwand schlägt sich zwangsläufig in hohen Gesteinskosten nieder. Der durchschnittliche Goldgehalt der Witwatersrandlagerstätten liegt örtlich bereits unter 10 g Au/t.

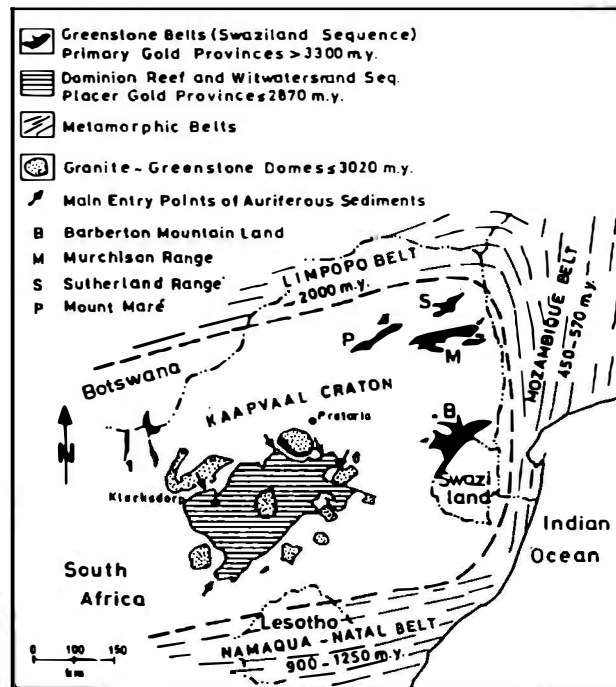


Abb. 6: Lage des Witwatersrand-Basins und der Gold-liefernden Greenstonebelts nach UTTER (1978).

Der Golderzbergbau Hartebeestfontein baut auf eine am NW Rand des 350 x 150 km großen Witwatersrand-Basins gelegene Lagerstätte. Im örtlichen Lagerstättenbereich besteht die erzführende Sedimentabfolge aus sandigen bis tonigen Sedimenten, die der Witwatersrand Supergroup angehören. Durch Metamorphosen wurden diese Gesteine zu Quarziten und Tonschiefern umgewandelt. Innerhalb dieser liegen mehrere Konglomeratbänke, die die eigentlichen Lagerstättenträger sind. Diese bis zu mehreren Metern mächtigen "Reefs" innerhalb der Witwatersrand Serie stellen fluviatile Sedimente eines Flußdeltabereiches dar (siehe oben). Das Alter der nachträglich strukturell deformierten Gesteine liegt zwischen 2,7 und 3,0 Mrd. Jahren. Die Witwatersrand Serie enthält mehrere Reefs, von denen hier das Vaal-Reef das bedeutendste ist.

Die golderzföhrnden Gesteinsabfolgen werden schließlich einerseits von der Ventersdorp Group, die vorwiegend aus Vulkaniten besteht, andererseits auch von den basalen Anteilen der Transvaal-Abfolge sowie den Karoo-Sedimenten überlagert.

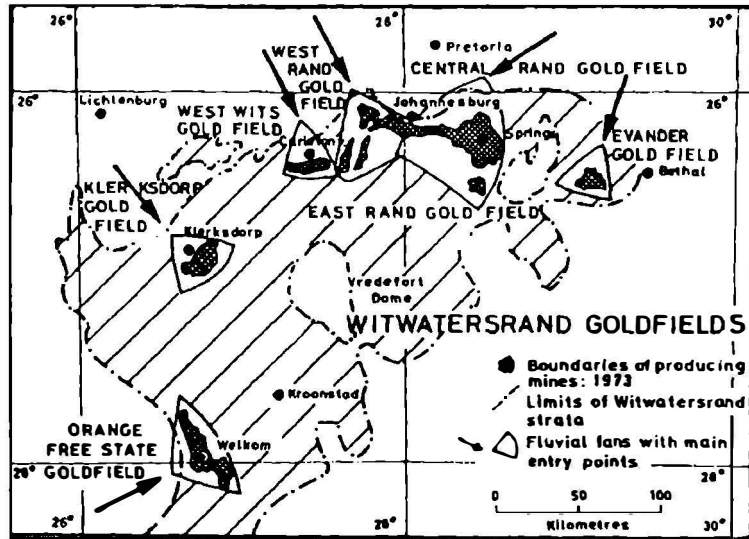


Abb. 7: Lage der Goldfelder im Witwatersrand-Basin nach UTTER (1978) und ANHAEUSSER (1976).

Der zur Zeit in Hartebeestfontein und in drei benachbarten Bergbauen abgebaute Lagerstättenkörper wird als Vaal-Reef bezeichnet. Dieses besteht aus einem bis zu 30 cm mächtigen, oligomiktem Au- und U-führendem Konglomerat und Quarzit. Charakteristische Bestandteile der feinkörnigen Matrix sind darüberhinaus Pyrite, die sowohl knollig angerundet, als auch hypidiomorph ausgebildet sind. An der Basis des Konglomerates treten darüberhinaus dünne dunkle Lagen (< 5 - 25 mm) auf, die aus Algenmatten oder flechtenähnlichen Pflanzen entstanden sind.

Die Au-Führung ist ausschließlich an die Konglomeratlagen gebunden, wobei der Pyrit als ausgezeichnetes Leitmineral fungiert. Die Au-Konzentration liegt durchschnittlich bei 15 g/t. Die höchsten Gehalte liegen dabei in der Nähe der dunklen Lagen organogenen Materials. Höhere Goldgehalte in den Konglomeraten sind auch mit größerer Korngröße und besserer Sortierung korrelierbar.

Uran tritt als Uraninit und Brannerit mit durchschnittlichen Gehalten von 500 g/t auf. Die Verteilung innerhalb der Konglomeratlagen ist dabei zwar heterogener als die des Goldes, dennoch sind auch die stärksten Konzentrationen in Nähe der dunklen Lagen vorhanden. Pyrit tritt in Form von angerundeten Körnern ("buckshot pyrite") und in hypidiomorpher Form auf. Von den angerundeten Körnern nimmt man an, daß sie detritären Ursprungs sind, während die Pyrite mit erkennbarer Kristallform durch hydrothermale Umprägung entstanden sind.

Als Genese dieser Vererzung werden einerseits epigenetische, hydrothermale Modelle ebenso wie syndementäre Anreicherungsverfahren diskutiert. Das heute wohl allgemein anerkannte Genesemodell basiert auf einer Anreicherung des Erzes

durch sedimentäre Prozesse. Dabei wurden erzführende Gesteinsabfolgen eines Hinterlandes abgetragen und fluviatil bis in den heute vorliegenden Lagerstättenbereich verfrachtet. Im Zuge der metamorphen Überprägung von Vererzung und Nebengestein kam es zu hydrothermalen Umlagerungsvorgängen, die sich aber auf die Wertstoffführung und/oder Verteilung nur insignifikant auswirkten.

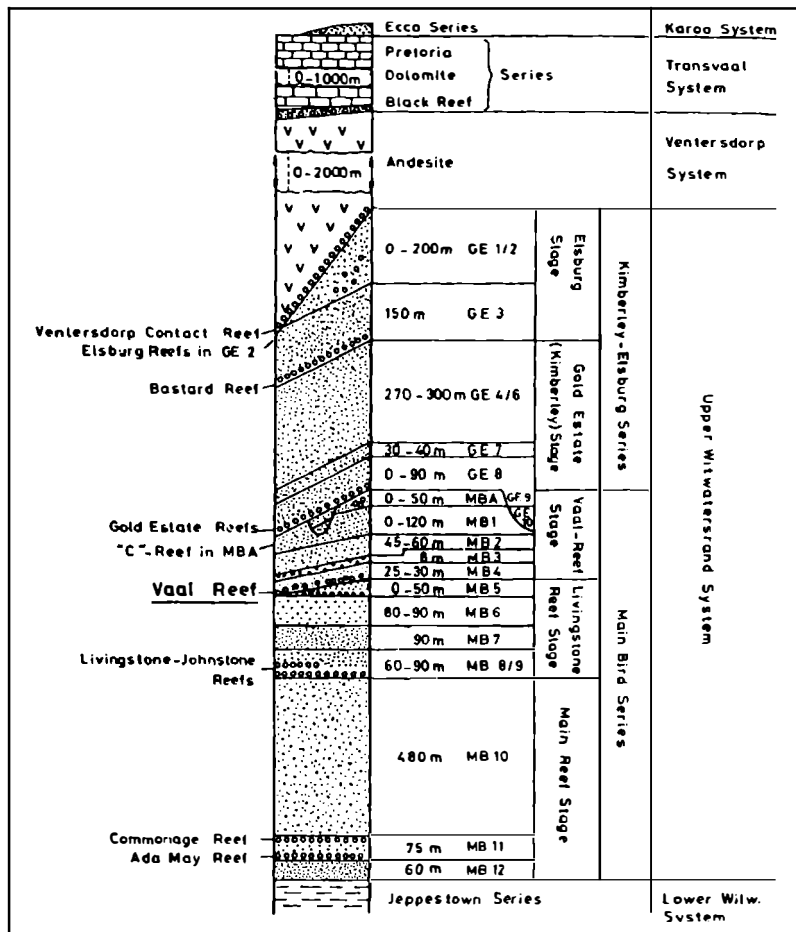


Abb. 8: Stratigraphisches Profil durch das Obere Witwatersrand System im Klerksdorp Goldfeld nach UTTER (1978).

Das Vaal-Reef wird durch eine Reihe von Brüchen in mehrere Blöcke zerlegt. Die größeren "Buffelsdoorn-" und "Kromdraai-Störungen" streichen NE-SW nahezu randparallel zum Witwatersrandbecken. Durch die vertikale Versetzung kam es zur Bildung von horst- und grabenähnlichen Strukturen ("Deep-" und "Shallow block").

Die Buffelsdoorn und Kromdrai Brüche setzen sich auch in den hangenden Ventersdorp- und Transvaal-Abfolgen fort, über ihr Alter liegen keine Informationen vor.

Auch die Intrusiva, die sich sowohl im Alter als auch in Zusammensetzung und Orientierung unterscheiden, sind häufig an derartige Störungen gebunden. Ihr Auftreten erhöht nicht nur die Komplexität der Lagerstätte, sondern verursacht auch beim Abbau felsmechanische Probleme. Auf Grund des Alters werden sechs verschiedene Typen von Intrusivgesteinen unterschieden, wobei lediglich die letzten drei nicht mit größeren Störungen zusammenhängen:

- Quarz-Diabase (Ventersdorp)
- Ilmenit-Diabase (post-Ventersdorp)
- Karbonatite (post Transvaal)
- Pilanesberg Dolerit (post Waterberg)
- Karoo Dolerit (post Karoo)
- Kimberlit (post Karoo)

Das Einfallen der Reefs ist generell flach ($< 10^\circ$), in Störungsnähe schleppungsbedingt etwas steiler.

Der Bergbau Hartebeestfontain der Anglovaal förderte 1988 4,656 Mio. t Erz mit einem durchschnittlichen Gold-Gehalt von 6,91 g/t, was einer Goldmenge von 32171 kg Feingold entspricht (Quelle: CHAMBER OF MINES OF SOUTH AFRICA, 1990). Seit Beginn der Bergbautätigkeit im Jahre 1955 wurden bis 1988 908018 kg Au produziert, was einem durchschnittlichem Au-Gehalt des Hauwerks von 12 g/t entspricht. Die Vorräte reichen bei gleichbleibender Jahresförderung noch für rund 15 Jahre.

Obwohl die Bergbaue im Witwatersrand-Basin zu den tiefsten Gruben der Welt zählen, liegen die tiefsten Baue in Hartebeestfontain lediglich in 2200 m Tiefe. Insgesamt bestehen rund 2000 km aufgefahrene Stollen und Strecken.

Im Bergbaubetrieb arbeiten rund 17000 Mann, von denen 14000 in der Grube und 3000 in den Obertagsanlagen beschäftigt sind.

6. Finsch

Der Lagerstätte der Finsch Mine liegt 175 km westlich von Kimberley bei Lime Acres in der nördlichen Kapprovinz. Entdeckt wurde das Vorkommen zufällig im Jahre 1960 von A.T. Fincham und E. Schwabel bei Prospektionsarbeiten auf Asbest. 1961 wurde Finsch Diamonds gegründet, 1963 wurden die Abbaurechte von De Beers erworben und mit dem Abbau des diamantführenden Kimberlites begonnen. Von 1965 - 1990 wurden im Tagbau jährlich rund 5 Millionen Tonnen Kimberlitgestein gefördert, woraus bei einem durchschnittlichen Gehalt von 0,87 Karat/t (0,17 g/t) ungefähr 4,5 - 5,0 Millionen Karat (900 - 1000 kg) Diamanten gewonnen wurden. Dabei handelt es sich zu 80 % um Industriediamanten mit einem Durchmesser von weniger als 3 mm, die gelblich bis bräunlich oder auch

schwarz gefärbt sind. Nur innerhalb der ersten dreißig Meter zu Beginn des Tagbaues wurden größere Steine gefunden, die zu Schmucksteinen verarbeitet wurden. Diese sind grün beschichtet und werden Finsch Greens genannt.

Bei der Lagerstätte handelt es sich um einen Kimberlitschlot mit einem Durchmesser von rund 500 m, der eine Fläche von 17 ha einnimmt. Die Erstreckung gegen die Teufe ist unbekannt. Das Nebengestein besteht aus 130 m mächtigen Schichten der Banded Ironstone Formation, die zur Middle Griquatown-Serie des präkambrischen Transvaal-Systems gehören. Es folgen 25 m Wechsellagerung von dünnbankigen dolomitischen, kieseligen und eisenreichen Gesteinen. Darunter liegen Dolomite, Hornsteine und Kalksteine.

Der Kimberlitschlot der Finsch Mine hat ein kretazischen Alter. Alle in Südafrika bekannten diamantführenden Kimberlitdiatreme finden sich nur in Gesteinen des Kratons mit einem Alter von über 2 Milliarden Jahren. Häufig findet man Diamanten auch auf sekundären, alluvialen Lagerstätten.

Der Tagbau in der Finsch Mine erfolgt mit einer Böschungsneigung von 55° und die Strossenhöhe von 12 m. Der Durchmesser des Tagebaues mußte durch Rückschneiden aller Etagen stets ausgeweitet werden, damit die Böschung nicht steiler als 55° wird. Ab einer Tiefe von 423 m war diese Abbaumethode nicht mehr wirtschaftlich, somit wurde seit 1990 untertags abgebaut. In all den Jahren des Tagebaues wurden rund 110 Millionen Tonnen Gestein bewegt, rund 97 Millionen Tonnen diamantführender Kimberlit gefördert und daraus fast 80 Millionen Karat gewonnen. Der Tagbau hinterließ ein Loch mit einer Fläche von 55 ha an der Oberfläche und 0,8 ha am Boden.

Die Aufbereitung des Kimberlites erfolgt nach dem Brechen und Sieben durch Dichtentrennung, magnetische Trennung und in der Röntgentrennanlage. Die hohe Dichte des Diamanten von $3,52 \text{ g/cm}^3$ läßt ihn in einer Ferrosilikat-Emulsion, mit einer Dichte von $2,95 \text{ g/cm}^3$, absinken, während das leichte, taube Gestein aufschwimmt. Dieses Verfahren erfolgt zur Beschleunigung in Zyklonen, in deren Spitze sich die Diamanten ansammeln. Die magnetische Trennung beruht auf der Tatsache, daß kimberlitische Mineralien leicht magnetisch sind, der Diamant wird durch Magnetfelder hingegen nicht beeinflusst. Da die Diamanten unter dem Einfluß von Röntgenstrahlung eine intensive blaue Fluoreszenz zeigen, wird das zerkleinerte Gestein an einer Röntgenröhre vorbeigeführt. Eine Photozelle spricht darauf an und bläst die Diamanten in einen speziellen Behälter. Eine weitere Sortierung erfolgt auf den Fett-Tischen, die aus drei bis fünf vibrierenden, dick mit Fett eingeschmierten Stufen bestehen, über die das in Wasser aufgeschlämmte Mineralkonzentrat läuft. Der Diamant bleibt infolge seiner hydrophoben Eigenschaften im Fett hängen. Fachkräfte trennen schließlich händisch die wenigen Schmuckdiamanten von den Industriediamanten.

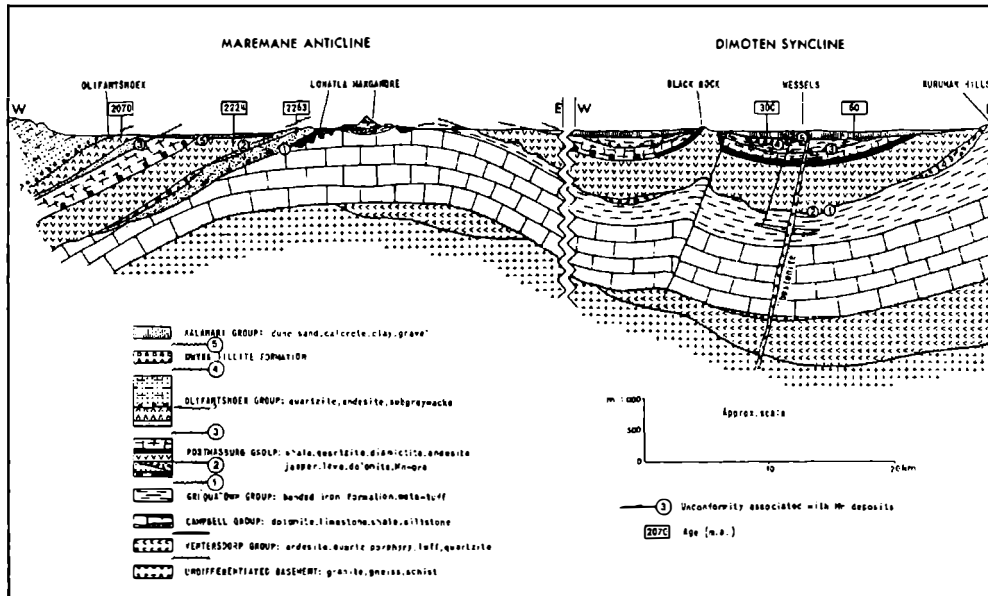


Abb. 9: Profil durch die Fe-Lagerstätte Sishen aus GÖD (1993).

7. Sishen (Fe):

Die Eisenerzlagerstätte Sishen zählt zu den größten und reichsten Lagerstätten des BIF (Banded Iron Formation) Typs. Die Kuruman- und Griquatown BIF, die zur frühproterozoischen Ghaap-Group zuzuordnen ist, erstreckt sich auf einen Bereich von 500 * 50 km;

Wie bei allen Lagerstätten dieses Typs beschäftigen sich die Kernfragen mit den Problemen der Herkunft der gewaltigen Mengen an Fe (Mn) bzw. Kieselsäure einerseits, den Fällungsbedingungen im sauerstoffarmen (-freien) Milieu andererseits.

Allgemein wird heute angenommen, daß Fe^{2+} unter anaeroben Verhältnissen aus den Sedimenten des Meeresbodens gelöst wurde. Zur Bildung der BIF wären dabei bloß Konzentrationen von 6 - 8 ppm Fe im Meerwasser nötig (KLEMM, 1991). Größere Probleme bereitet die Herkunft der Kieselsäure. Meerwasser enthält nur geringe Mengen an Si. Die Löslichkeit ist jedoch pH- und salinitätsabhängig. Bei $pH > 11$ ist sogar eine Steigerung der Löslichkeit auf das Hundertfache (somit bis 300 ppm Si im Meerwasser!) möglich.

Eine andere Möglichkeit für die Anreicherung von Kieselsäure ist die Umwandlung von Magadiit (das Natriumsilikat $NaSi_7O_{13}(OH)_3 \cdot 3H_2O$, benannt nach dem Lake Magadi). Die Bildung von Magadiit wurde im aquatischen Milieu in tertiären Sedimenten grundsätzlich nachgewiesen. Dabei wird angenommen, daß die Umwandlung von Magadiit in Chert durch den Abtransport des Na und des Kristallwassers

noch im Wasser erfolgte (EUGSTER & CHOU, 1973). Die geringste Löslichkeit von Magadiites liegt bei einem pH von 8,7.

Die Anwesenheit von Sauerstoff verursacht eine abrupte Fällung des Fe^{2+} durch Oxidation. Dabei wird eine Oxidation durch die Sauerstoffproduktion von Blaualgen angenommen. (Andere Möglichkeiten sehen auch die direkte oder indirekte Mitwirkung von Bakterien vor). Bei Anwesenheit von Sauerstoff wird ab einem Eh von +0,2V das Fe^{2+} in einen Eisen-oxy-hydroxychloridkomplex aufoxidiert. Aus diesem gelförmigen Präzipitat bildet sich schließlich Protohämatit.

Die alleinige Mitwirkung der Blaualgen (oder der Bakterien) erlaubt jedoch keine vernünftige Erklärung der Fällung der gewaltigen Mengen an Kieselsäure. KLEMM (1991) vermutet dabei keine biogene Anreicherung, vielmehr eine bloße Konzentration durch Evaporation.

GÖD (1993) führt darüberhinaus eine Reihe von überzeugenden Argumenten für eine syndimentäre Metallanreicherung an: Neben der enormen Ausdehnung des Lagerstättenkörpers vor allem die Tatsache, daß die größten Erzmächtigkeiten mit den ehemaligen Beckenlagen zusammenfallen. Das Fehlen von Alterationsareolen um den Erzkörper wird ebenfalls als Hinweis dafür gesehen, daß die Bildung eines massiven Hämatiterzes durch Hämatitisierung einer BIF

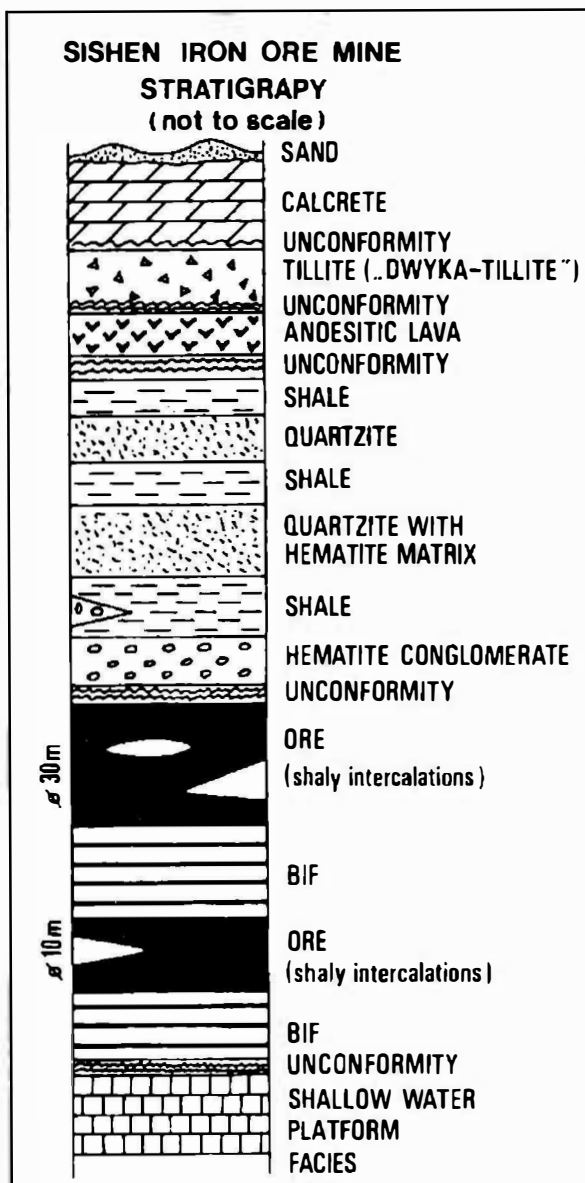


Abb. 10: Stratigraphische Abfolge im Bereich der Lagerstätte Sishen.

größten Erzmächtigkeiten mit den ehemaligen Beckenlagen zusammenfallen. Das Fehlen von Alterationsareolen um den Erzkörper wird ebenfalls als Hinweis dafür gesehen, daß die Bildung eines massiven Hämatiterzes durch Hämatitisierung einer BIF größenordnungsmäßig den Austausch des halben Volumens der BIF bedingen würde.

Der Lagerstättenkörper liegt in jenen Sedimentabfolgen, die den Kapvaal-Kraton transgressiv überlagern (Griqualand-West Sequence). Das Liegende bilden Dolomite, die von Chert-reichen Sedimenten mit einem geringmächtigen Manganlager (Leithorizont) überlagert werden. Darüber folgt ein liegender Erzkörper (Mächtigkeit ca 10 m, maximal 70 m), der durch eine taube Einlagerungen von einem hangenden Erzkörper (Mächtigkeit durchschnittlich 30 m, max. 100 m) getrennt wird. Der gesamte Erzkörper wird von quarzreichen Sedimenten und Vulkaniten diskordant überlagert.

Vererzung und Nebengestein fallen bei annäherndem N-S-Streichen flach westwärts ein. Ein im Tagbau aufgeschlossener Verwerfer zerlegt den Lagerstättenkörper in zwei Bereiche. Obwohl der FeO Gehalt mit durchschnittlich über 60 % hoch ist, werden durch Aufbereiten drei Erzqualitäten erzeugt: Low-Grade: 60 - 63 % FeO, Middle-Grade 63 - 66 % FeO, High-Grade 66 - 70 % FeO.

Der Tagbau von Sishen sticht mit einer Ausdehnung von 11 * 1,5 km durch seine enorme Größe hervor. Jährlich werden 19 Mio. t an Erz und Überlagerung bewegt. Obwohl bereits zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts entdeckt, wurde die Lagerstätte erst in den 50-er Jahren dieses Jahrhunderts erschlossen. Im Jahre 1965 waren rund 360 Mio. t an Erzen bekannt. Um 1970 wurde ein großzügig angelegtes Explorationsprogramm gestartet und die Vorratssituation auf über 1000 Mio. t Erz angehoben. Obwohl die weiteren Such- und Untersuchungsarbeiten seit 1983 wieder rückläufig sind, sind trotz der abgebauten Menge z.Z. über 1700 Mio. t an wirtschaftlich gewinnbaren Vorräten bekannt.

8. Postmasburg-Kuruman (Mn-,Fe)

Der südafrikanische Manganerzgürtel enthält eine Reihe von unterschiedlichen Vererzungstypen, die grob als Postmasburgtyp (1) bzw als Kurumantyp (2) bezeichnet werden können. Beide liegen in Gesteinen der sog. Griqualand-West Supergroup, die ihrerseits in weitere Formationen unterteilt werden kann.

Die Griqualand West Supergroup, wie auch die unterlagernden Gesteine der Ventersdorp Group sind Teile des Transvaal Basins, die in einer flachen Depression transgressiv auf dem Kaapvaal Kraton auflagern.

Eine schematisches Profil der einzelnen Abfolgen stammt von SÖHNGE (1977). In dieser Darstellung (Abb. 11) zwar zu ersehen, daß beide Vererzungstypen innerhalb der Gesteinsabfolge der Postmasburg-Gruppe liegen. Das Alter dieser Gesteine kann grob mit 2,2 Mrd. Jahren angegeben werden.

Die Vererzungen des Postmasburg-Typs bzw. des Kuruman-Typs sind nicht nur in unterschiedlicher stratigraphischer Position, sondern besitzen auch eine unterschiedliche Genese:

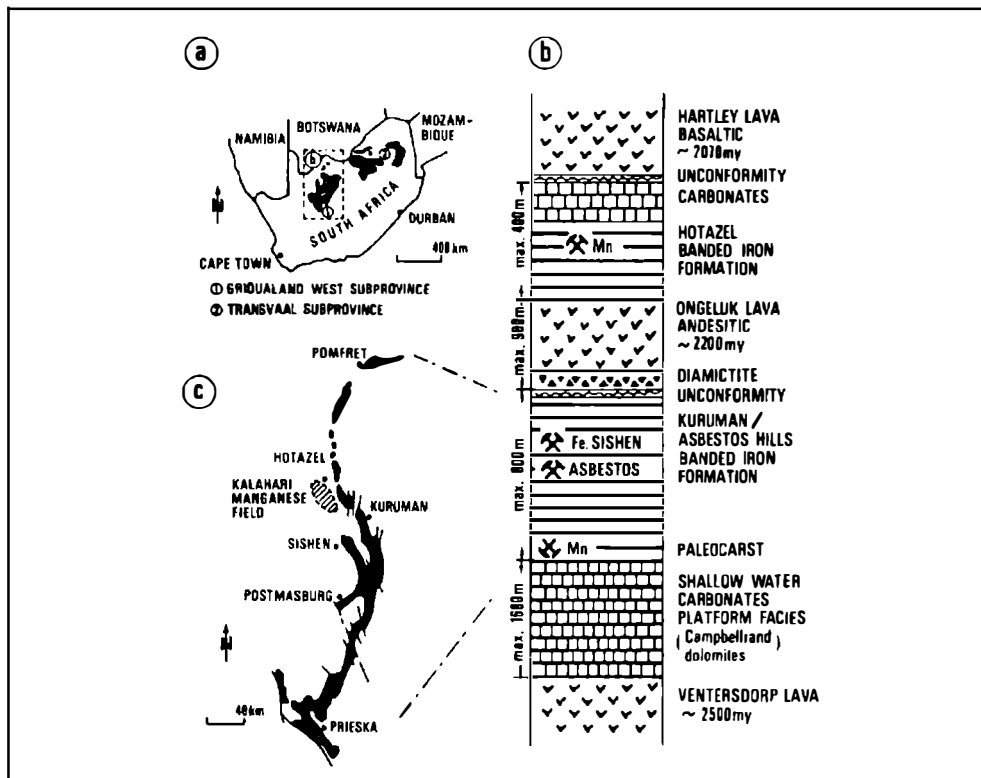


Abb. 11: Schematisches Profil durch die Manganerzlagerstätten des Postmasburg- und Kuruman-Revieres nach SÖHNGE (1977).

Postmasburg-Typ:

Die Manganerze des Postmasburg-Typs sind grobkristallin. Sie liegen als Bestandteil der Postmasburg Group in Form von Linsen und unregelmäßig begrenzten Erzkörpern über einem Erosionsrelief auf Dolomiten der Campbell-Group. SÖHNGE (1977) nimmt an, daß die Gesteine der Griquatown Formation tiefgründig abgetragen wurden und lange Zeit der chemischen und physikalischen Erosion ausgesetzt waren. Dabei wurden u.a. mehrere Hundert Meter BIF (Asbesheuwels Ironstone, Koegas Mudsstone usw.), bedingt durch die Aufwölbung des Maremane-Rückens abgetragen, wodurch sogar die Dolomite der Campbell Formation freigelegt wurden. Diese porösen Gesteine ermöglichten, daß Wasser auch in den tieferen Untergrund gelangen konnten und vor allem mit den Vulkaniten der Ventersdorp Group in Berührung kamen. Die zirkulierenden Wässer sollen dabei auf Grund der physikochemischen Bedingungen u.a. reichlich Mn gelöst haben. Dieses wurde schließlich in die Dolomite der Campbell Group (Ghaap-Plateau Dolomite) eingebaut. Die Manganvererzungen von Postmasburg sind somit an das Erosionsrelief des Dolomites gebunden, und somit auch als Karsttyp zu bezeichnen. Metamorphosen, vor allem aber Intrusionen von Ganggesteinen konnten den primären Mineralbestand örtlich nachträglich qualitativ verändern.

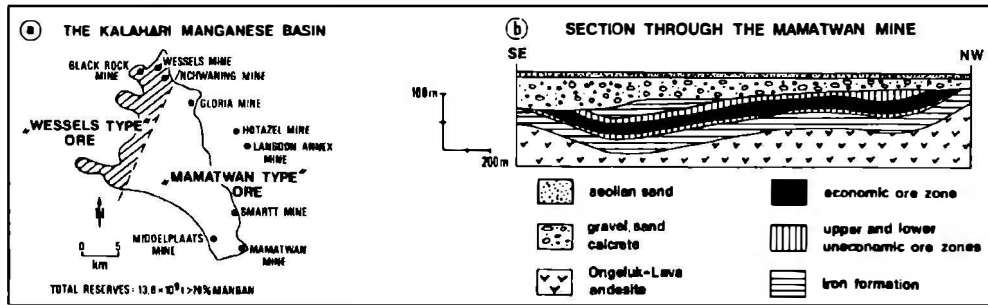


Abb. 12: Profil durch die Lagerstätte Mamatwan aus GÖD (1993).

Kuruman-Typ (Kalahari-Mangan-Feld)

Die Mangan-Erze des Kuruman-Typs unterscheiden sich vor allem von Postmasburg-Typ nicht nur durch ihre unterschiedliche Textur, sondern auch durch ihre Genese: Die Kuruman-Erze sind laminiert und wechsellagern mit Bändereisenerzen. Nach SÖHNGE (1977) soll das Mn nicht aus den Mn-hältigen Dolomiten oder anderen Mn-hältigen Gesteinen, beispielsweise Vulkaniten der Liegendabfolgen herausgelöst worden sein. Vielmehr soll durch vulkanogene Ereignisse, die u.a. den Voelwater Jasper entstehen ließen, auch Mn-hältige Lösungen bis auf den Meeresboden gedrungen sein. Hydrothermale Nebengesteinsveränderungen sollen der Beweis hierfür sein. Das in den Hydrothermen gelöste Mn und Fe soll schließlich unter Mitwirkung von Bakterien, die das Mn^{2+} in Mn^{3+} aufoxidieren konnten, gefällt worden sein. Die Hydrothermallösungen wären schließlich auch der Grund für die Anlieferung der enormen Mengen von Kieselsäure.

Im Kalahari-Mangan-Feld bestehen mehrere Bergbaue auf Manganerze, von denen die Gruben Mamatwan und Wessels zu den bedeutendsten zählen. Als Mamatwan-Type werden lediglich diagenetisch, höchstens schwach metamorph überprägte Manganerze verstanden, während die Vererzungen des Wessels-Typs bei gleicher primärer Entstehung der Manganvererzung eine nachträgliche hydrothermale Überprägung erkennen lassen (GÖD, 1993).

Der Lagerstättenkörper der Mamatwan-Mine besteht aus einem flach gelagerten, 7 - 23 m mächtigen Haupt-Erzflöz, welches in Abfolgen der Pretoria Serie eingeschaltet liegt. Der Manganerzkörper wird von Sedimenten einer Iron-Formation ("Hotazel-Formation") sowohl über- als auch unterlagert. Nebengestein und Vererzung liegen primär sedimentär dem Ongeluk-Lavenkomplex direkt auf. Die Lagerstätte wird schließlich von den Kalahari-Sedimenten überlagert.

Die manganerzführenden Horizonte liegen im Übergangsbereich zwischen einer manganoxidischen Randfazies und einer kalzitischen Beckenfazies. Das Gestein ist durch hohe CaO und CO₂ Gehalte gekennzeichnet, die Fe-Gehalte liegen um 5%, das Mn/Fe Verhältnis schwankt zwischen 8:1 und 10:1 (GÖD, 1993).

Als Manganträger des feinlamierten Erzes fungieren in erster Linie Braunit und Hausmannit. Das "Mamatwan-Erz" zeichnet sich durch Mn-Gehalte zwischen 38 und 40 % bei Fe-Gehalten von 4 - 6 % aus. Der CaO Gehalt liegt bei 12 - 16 %, der CO₂ Gehalt bei 15 - 17 %, der SiO₂ Gehalt bei 4 - 6 %.

Die Vorräte werden mit einigen Hundert Mio t an Erz (38 - 40 % Mn, 6 - 8 % Fe) angegeben. Jährlich werden im Tagbau rund 2 Mio t an Roherz gewonnen, die in einer eigenen Hütte zu Ferromangan weiterverarbeitet werden.

9. Polysulfidische Pb-Zn-Vererzung von Aggeneys (Namaqualand)

Im Bereich um Aggeneys liegen in den mittelproterozoischen Gesteinsabfolgen des Namaqualand Metamorphic Complexes mindestens vier schichtkonkordant im Nebengestein eingelagerte Sulfiderzkörper, die als "Broken Hill", "Black Mountain", "Big-Syncline" und "Gamsberg" bezeichnet werden. Zur Zeit wird lediglich die Lagerstätte Broken Hill bergbaulich genutzt. Das initiale Lagerstättenvermögen dieses Erzkörpers wird mit rund 35 Mio t Erz (6,35 % Pb, 2,87% Zn, 0,45% Cu und 82 g/t Ag) eingeschätzt.

Sämtliche Lagerstättenkörper im Bereich um Aggeneys liegen in der gleichen stratigraphischen Position. Der Schichtkomplex umfaßt magnetitreiche Gneise, Sillimanitglimmerschiefer, Quarzite, untergeordnet Kalksilikatgesteine und Amphibolite. Nebengestein und Erzkörper sind amphibolitfaziell metamorph überprägt, mindestens vier Deformationsereignisse sind nachweisbar.

Erzkörper und Nebengestein streichen E-W und fallen gegen N ein. Aus den regionalgeologischen Verhältnissen wird auf eine überkippte Lagerung geschlossen. Grundsätzlich wird unter einem "Oberem" und einem "Unteren" Erzkörper unterschieden. In Streichen ist die Vererzung auf ca. 1200 m nachgewiesen worden. Die massiven Anteile des Lagerstättenkörpers enthalten in erster Linie Pyrrhotin, und Galenit, in geringerem Ausmaß Sphalerit, Chalkopyrit und Pyrit. Typische Gangartminerale sind Quarz und Granat. Im Oberen Erzkörper kann zusätzlich Baryt auftreten.

Der Obere Erzkörper, der bis zu 30 m mächtig werden kann, ist in scharf begrenzte Lagerlinsen untergliedert. Der Metallgehalt des Erzes erreicht lokal 20 % bei einem Pb/Zn-Verhältnis von 5:1 und örtlich sogar 20:1. Der bis zu 4 m mächtige Untere Erzkörper, der weitgehend als ein einziges Lager ausgebildet ist, zeigt Metallgehalte unter 20 % mit einem Pb/Zn-verhältnis von 2:1. Charakteristisch für den Unteren Erzkörper sind weitanhaltende Silikat-Bänder aus Granat und Amphibol.

Es herrscht kaum Zweifel darüber, daß die Vererzung syngenetisch mit dem Nebengestein durch hydrothermale Zufuhr entstanden ist. Obwohl ausgesprochene Vulkanite fehlen, lassen Tuffite und Tuffe auf eine submarine vulkanische Aktivität schließen. Für derartige Lagerstätten typische Nebengesteinsalterationen sind (bisher?) nicht beobachtet worden. Aus der Cu-Verteilung wird auf eine Nähe des Exhalationszentrum geschlossen. Bemerkenswert ist die gute Erhaltung

offensichtlich noch primärer textueller Elemente und die nahezu fehlende Mobilisation trotz der starken Überprägung. Auffallend ist weiters die Existenz von Baryt, der für Lagerstätten dieses Alters unüblich ist.

Oberer Erzkörper	Unterer Erzkörper
größere Körnung	feinere Körnung
unregelmäßige Bänderung	regelmäßige Bänderung
Linien von Sulfidmineralen	gleichmäßige Verteilung der Sulfidminerale
höherer Gehalt an Cu u. Bi	geringere Cu u. Bi-Gehalte
Pb:Zn-Verhältnis 5:1 - 20:1	Pb:Zn-Verhältnis < 3:1
Cu + Pb + Zn ca. 22% (> 20%)	Cu + Pb + Zn ca. 15% (< 20%)

Tab. 4: Unterschiede zwischen den "massiven Sulfiden" des Oberen und Unteren Erzkörpers von Aggeneys.

Die Lagerstätte ist mittels Rampen und von diesen abgehenden Strecken aufgeschlossen. Die tiefste Sohle liegt z.Z. etwa 700 m unter der Geländeoberfläche. Der Abbau des Lagerstättenkörpers erfolgt mittels Cut und Fill. Täglich werden 4500 t Erz (6 % Pb, 4 - 5 % Zn, 0,4 % Cu) abgebaut. Der Betrieb beschäftigt ca. 1300 Arbeiter und Angestellte.

10. Kupfervererzungen von Okiep, Namaqualand

Die Kupfervererzungen von Okiep liegen ebenfalls im Namaqualand Metamorphic Complex. Dieser kann im Bereich um Okiep in eine Abfolge bestehend aus Sedimenten und Metavulkaniten (Okiep Group) und in verschiedene Intrusionskomplexe (Gladkop Suite, Little Namaqualand Suite, Spektakel Suite und Koperberg Suite) untergliedert werden. Diese proterozoische Metavulkanit-Sedimentabfolge der Okiep Group besteht aus Metapeliten, Quarziten, Quarz-Feldspat-Biotit-Granuliten, Gneisen und Amphiboliten. Eine hochgradige Metamorphose und tektonische Durchbewegung haben alle Gesteine stark überprägt. Jüngere (post-panafrikanische) Sedimente der Nama Group (Konglomerate, Schiefer, Quarzite und Kalke) überlagern die erwähnten Gesteinsabfolgen diskordant transgressiv.

Von den erwähnten Intrusionsereignissen kommt der Koperberg Suite als jüngstem Ereignis (ca. 1070 ± 20 ma) insofern eine besondere Bedeutung zu, als die Kupfervererzung ausschließlich an diese Gesteinsabfolgen gebunden ist. Dabei handelt es sich um Schwärme von generell E-W streichenden, steil gegen N

einfallende unregelmäßige Gesteinskörper, die größtenteils 60 - 100 m mächtig und kaum über 1 km im Streichen zu verfolgen sind. Diese Gangschwärme bestehen vorwiegend aus Dioriten, Anorthositen und Noriten (LOMBAARD, 1986).

Die Kupfergehalte der an die basischen Gesteinskörper gebundenen Vererzungen sind stark schwankend und liegen zwischen Spuren und 1 - 3 %. Ebenso ist die Größe und die Gestaltung der Lagerstättenkörper äußerst variabel. Neben zahlreichen, auf Grund ihrer geringen Erstreckung unbauwürdigen Erzkörper existieren Lagerstätten mit einem Wertstoffinhalt von rd. 200000 t, darüberhinaus auch solche mit einem Lagerstättenvermögen über 30 Mio t. Die steile Lagerung des Nebengesteins impliziert auch eine steile Lage der linsenförmigen Erzkörper. Der Abbau erfolgt sowohl in Tagbauen als auch tiefbaumäßig.

Zwei Typen von Kupfervererzungen werden auf Grund der Erzparagene unterschieden: Der Okiep-Typ, im wesentlichen Kupferkiesführend, und der Carolusberg-Typ, der durch die Bornit-Chalkosin-Magnetit-Führung gekennzeichnet ist. Sämtliche Erze sind frei an Co, Ni und Pt und liegen im Nebengestein überwiegend fein disseminiert vor und nur gelegentlich sind auch massivere linsenförmige Anreicherungen gegeben.

Die Herkunft der basischen Nebengesteine ist ebenso umstritten wie die Genese der Vererzung. Allgemein wird heute die Auffassung vertreten, daß diese Vererzungen von einem an Cu- und Fe-reichem Magma abstammen, nachdem auch verschiedentlich an die Herkunft der Metalle aus dem benachbarten Nebengestein gedacht wurde. Dabei wären die Metalle im Zusammenhang mit der Metamorphose aus dem Nebengestein mobilisiert worden. Die erzführenden Intrusivgesteine werden auf tiefgelegene, im Unterkrustenbereich situierte Magmenkammern zurückgeführt, in denen bereits vor der Intrusion eine Differentiation stattgefunden hat.

Danksagung

An dieser Stelle sei den Herrn Prof. Dipl.-Ing. Dr. H. Wagner (nun Montanuniversität Leoben) sowie Dr. Reinaud Boers (Chamber of Mines, Johannesburg, SA) und Dr. H. Frimmel (Department of Geology, Capetown University) für ihre organisatorische Hilfe herzlichst gedankt.

Literatur

- ANHAEUSSER, C.R. (1976): Archean Metallogeny in Southern Africa. - Econ.Geol. 71, 16 - 43.
- CHAMBER OF MINES OF SOUTH-AFRICA, (1990): Mining in South Africa. - Johannesburg.
- DE VILLIERS, J.E. (1983): The Manganese Deposits of Griqualand West, South Africa: Some Mineralogic Aspects. - Econ Geol., 78, 1108 - 1118.
- EVANS, A.M. (1992): Erzlagerstättenkunde. - Enke: Stuttgart.

- ERIKSSON, S.C., FOURIE, P.J., de JAGER, D.H. (1985): Cumulate origin of the minerals in clinopyroxenites of the Palabora-complex. - Trans. Geol. Soc. SA, 88, 207 - 214.
- EUGSTER, H.P., I-MING CHOU (1973): The depositional environment of Precambrian banded iron formation. - Econ Geol., 68, 1144 - 1168.
- FRIEDE, H.M., STEEL, R.H. (1976): Tin mining and smelting in the Transvaal during the Iron Age. - J. S. Afr. Mining and Metallurgy, 12 p.
- GÖD, R. (1993): Die Eisen-, Mangan- und Asbest-Lagerstätten der nördlichen Kapprovinz/Südafrika - Ein lagerstättenkundlicher Überblick. - Berg- u. hüttenmänn.Mh., 138, 52 - 57.
- GRUENEWALDT, G. von, SCHARPE, M.R., HUTTON, C.J. (1985): The Bushveld complex: introduction and review. - Econ.Geol., 80, 803 - 812.
- HÄLBICH, I.W., ALTERMANN, W. (1991): The Genesis of BIF in the Transvaal Supergroup, South Africa. - In: PAGEL, M., LEROY, J.L. (Eds.): Source, Transport and Deposition of Metals, 287 - 290, Balkema, Rotterdam.
- HILDEBRAND, H.J. (1977): MANGAN.- Untersuchungen über Angebot und Nachfrage mineralischer Rohstoffe. - Vol. 8, 156 S, Stuttgart 1977.
- HUTCHINSON, R.W. (1987): Metallogeny of Precambrian Gold Deposits: Space and Time Relationships. - Econ.Geol., 82, 1993 - 2007.
- KLEMM, D.D., (1991): The Formation of highly concentrated iron ore body within the BIF.- The Sishen Case. - In: PAGEL, M. & LEROY, J.L. (Eds): Source, Transport and Deposition of Metals, 63 - 64, Balkema, Rotterdam.
- KLEMM, D.D., SNETHLAGE, R.M., HENCKEL, J., SCHMIDT-THOMÉ, R. (1982): The Formation of Chromite and Titanomagnetite Deposits within the Bushveld Igneous Complex. - In: AMSTUTZ, G.C., EL GORESY, A., FRENZEL, G., KLUTH, C., MOH, G., WAUSCHKUHN, A., ZIMMERMANN, R.A. (Eds.): Ore Genesis -The State of the Art, 351-370, Springer, Berlin 1982.
- LOMBAARD, A.F. (1986): The copper deposits of the Okiep District, Namaqualand. - In: ANHEUSSER, C.R., MASKE, S. (Eds.): Mineral Deposits of Southern Africa. - Geol. Soc. South Africa: Johannesburg, 1421 - 1445.
- LEEB-DU TOIT, A. (1986): The Impala Platinum Mines. - In: Mineral Deposits of Southern Africa. - Geol. Soc. S. Afr., Johannesburg.
- PRETORIUS, D.A., MASKE, S.: An Issue Devoted to Mineral Deposits in Southern Africa. - Econ. Geol., 71, Lancaster 1976.
- SNETHLAGE, R., v.GRUENEWALDT, G. (1977): Oxygen fugacity and its bearing on the origin of chromitite layers in the Bushveld Complex. - In: KLEMM, D.D., SCHNEIDER, H.J. (Ed.): Time- and Strata-Bound Ore Deposits. - Springer: Berlin, 352 - 370.
- SÖHNGE, P.G. (1977): Timing Aspects of the Manganese Deposits of the Northern Cape Province (South Africa). - In: KLEMM, D.D., SCHNEIDER, H.J., (Eds.): Time- and Strata-Bound Ore Deposits., 115 - 122, Springer: Berlin.
- UTTER, T. (1978): Morphology and geochemistry of different pyrite types from the Upper Witwatersrand System of the Klerksdorp Goldfield, South Africa. - Geol. Rdsch, 67, 774 - 804.
- WALRAVEN, F. (1985): Genetic aspects of the granophyric rocks of the Bushveld complex. - Econ.Geol., 80, 1166 - 1180.

WEBER, L., PLESCHIUTSCHNIG, I. (1993): Welt-Bergbau-Daten 93. - BMWA,
Wien, 204 S.