

## Die tektonische Kontrolle der Zinngänge von Rutongo, Rwanda (Afrika)

Von Walter POHL\*

Mit 4 Tafeln und 4 Abbildungen

### Inhalt

Zusammenfassung . . . . .	89
Summary . . . . .	90
Resumé . . . . .	91
1. Einleitung . . . . .	92
2. Der Geologische Rahmen . . . . .	92
2.1. Morphologie . . . . .	92
2.2. Stratigraphie . . . . .	93
2.3. Tektonik . . . . .	94
2.4. Metamorphose und Granit . . . . .	98
3. Zinnlagerstätten . . . . .	99
3.1. Die Quarzgänge . . . . .	100
3.2. Die Gangfelder . . . . .	101
3.3. Die Lagerstättenzonen . . . . .	102
4. Diskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerungen . . . . .	103
5. Literaturhinweise . . . . .	107

### Zusammenfassung

Die Bergbaue des Zinndistriktes von Rutongo liegen in einer flachen, nach NNW abtauchenden, westvergenten Antiklinale. Stratigraphisch gehören die Sedimentgesteine dieser Struktur in den oberen Bereich der Unteren Serie des Burundi (Präkambrium). Es handelt sich um eine mehrere 1000 m mächtige Abfolge pelitischer und psammitischer Gesteine, die nun zum größten Teil anchi- bis epimetamorph vorliegen. Eine Zunahme der Metamorphose nach Süden führt bis zu mesozonal metamorphen Gesteinen.

In den Ostflügel und den Kern der Antiklinale südlich von Rutongo ist Granit alaskitischer Fazies intrudiert, der dem Massiv des Granites von Kigali angehört. Die Intrusion ist spättektonisch; die Abtragung des Daches ist nur bis zur welligen Granitoberfläche vorgeschritten, wofür zahlreiche Inklusionen von mehr oder weniger metamorphen Sedimentgesteinen zeugen.

Die Bildung der Antiklinale von Rutongo kann in mehrere tektonische Phasen unterteilt werden: 1. Eine Hauptfaltung nach Achsen, die flach nach 340° einfallen, 2. Eine Faltung nach N/S-Achsen mit Transversalachsen nach 090°; Bildung flacher Aufwölbungen durch Granitintrusion, 3. Weitere Einengung infolge Durchreissens der N/S-Achsen, dadurch Bildung ± flacher, N/S streichender, E einfallender Aufschiebungen längs des Scheitels mit Verstärkungen bis zu mehreren 100 m, und 4. Jüngere Störungen ohne Bezug zum orogenen Deformationsplan.

\* Anschrift des Verfassers: Dr. W. Pohl, Institut für Geologie und Lagerstättenforschung, Montanistische Hochschule, A-8700 Leoben

Charakteristisch für das Verformungsbild der Antiklinale von Rutongo sind Transversalachsen, die etwa senkrecht zur Hauptachsenrichtung streichen und gleichzeitig mit diesen gefaltet wurden. Sie sind durch Behinderung der Längsausdehnung parallel B infolge Stauchung am nördlich auflastenden Schichtstoß des Synklinoriums von Byumba zu erklären.

Zinn ist in Rutongo an Quarzgänge mit Kassiterit, Muskovit und gelegentlich Sulfiden gebunden; die Nebengesteine sind gewöhnlich intensiv turmalinisiert und sericitisiert, oft auch silifiziert. Die Quarzgänge sind fast ausschließlich in mächtigeren Bänken kompetenter Gesteine der Schichtfolge ausgebildet; sie formen große Gangfelder, die mehrere 100 parallele Einzelgänge umfassen können. Die Gangfelder können zu Zonen zusammengefaßt werden; die wichtigste dieser Zonen, aus welcher über 80 % der Kassiteritproduktion des Reviers stammen, schließt unmittelbar östlich an die Ausbisslinie der westgerichteten Aufschiebungen in einer Breite bis 1500 m an, mit einer Länge von über 6 km in N/S-Richtung. Die Gänge dieser Zone streichen N/S und fallen nach Westen steil ein; die Addition der Gangmächtigkeiten quer über diese Zone ergibt eine Zerrung von über 150 m in E/W-Richtung. Die Bildung der Gangspalten wird auf eine Dehnung der Hangendscholle der Längsaufschiebungen durch Voreilen der kernnahen Teile in die Scheitelzone der Antiklinale zurückgeführt. Die Gänge liegen allgemein in der Fläche der größten Zugbeanspruchung in eindeutiger Symmetriebeziehung zum Deformationsplan der tektonischen Phasen 2 und 3.

Eine pneumatolytisch-hydrothermale Front des Granites führte gleichzeitig mit der Bildung der Gangspalten zu deren Füllung. Es können mehrere Fazies der Gangfüllung unterschieden werden, in denen der Übergang von pneumatolytischer zu hydrothermaler Mineralisation zum Ausdruck kommt.

Die geologisch-tektonische Analyse des Distriktes ergibt wichtige Hinweise für eine Prospektion nach verborgenen, primären Lagerstätten.

### Summary

The mines of the tin-district of Rutongo lie within an anticline, which plunges at a flat angle to NNW and shows a tendency towards overturning to the west. The sediments forming this structure comprise the higher part of the Lower Series of the Burundian (Precambrian). They have been mapped as a suite of psammitic and pelitic rocks, several 1000 m thick, which are now only slightly (anchi- to epi-) metamorphic. An increase in metamorphism towards the south leads to rocks of mesozonal metamorphic facies.

The eastern flank and the core of this anticline south of Rutongo have been intruded by granite (alaskite), which is part of the intrusive mass of the Kigali granite. The intrusion postdates the main phase of folding; its roof has been eroded only to the undulating surface of the granite, so that numerous roof-pendants of  $\pm$  metamorphic rocks remain within the granitic body.

The following tectonic phases can be distinguished in the Rutongo anticline: 1. main phase of folding along axis plunging to 340°, 2. folding along N/S-axis and transverse E-dipping axis; uplift of domal structures by granite-cupolas, 3. Continuing compression and shearing through of folds leads to low-angle overthrust faulting along the core of the anticline with a dip-separation of some 100 m, 4. younger normal faults without symmetry correlation to the prior orogenic deformation.

Transverse folds at approximately right angle to the longitudinal main folds are the most characteristic feature of the Rutongo anticline; they are contemporaneous with the main folds. Their occurrence can be explained by the general tendency of the longitudinal expansion of anticlines being hindered at Rutongo because of the northerly plunge of the anticline under the overwhelming mass of the Synklinorium of Byumba.

Tin is being mined in the district as cassiterite in quartzveins containing also muscovite and rare sulfides; the country-rocks adjoining the veins are often intensively turmalinized and sericitized, on occasion silicified. The quartz-veins occur almost exclusively in thicker bands of competent rocks within the sedimentary suite; they form fields of parallel veins containing up to several hundred single veins. Five zones containing each several vein-fields can be distinguished; the most important one lies immediately to the east of the N/S-trending overthrusts. From this zone originate more than 80 % of the district's cassiterite-production; it is up to 1500 m wide and over 6 km long in a N/S-direction. The veins of this zone strike N/S and dip steeply to the west; by summing up the widths of the single veins across the zone the expansion can be estimated at more than 150 m in E/W-direction. The vein-fractures are

thought to have been formed by tension of the overthrust block; the tension was caused by the front part of this block moving more rapidly than its roots towards the west into the core of the anticline. The vein-fractures lie generally parallel to the resulting plane of maximum tension, so they exhibit a clear symmetrical correlation to the deformational plan of the tectonic phases 2 and 3.

A pneumatolytic-hydrothermal front emanating from the granite provided the filling of the vein-fractures as they were formed. Several facies of mineralization can be distinguished, which reflect the transition from pneumatolytic to hydrothermal conditions.

The structural analysis provides useful data for the search of non-outcropping primary deposits within the district.

### Resume

Les mines d'étain du district de Rutongo sont situées dans un anticlinal plongeant vers NNO, et qui est deversé vers l'ouest. Les roches sédimentaires formant cet anticlinal comprennent la moitié supérieure de la Série Inférieure du Burundien (Précambrien). Il s'agit d'une suite de roches pélitiques et psammitiques, qui pour la plus grande partie n'ont été que légèrement (anchi- à epi-) métamorphosées. Une augmentation du degré de métamorphisme vers le sud résulte de roches de faciés mésozonale.

Un granite (alaskite) appartenant au massif granitique de Kigali affleure à l'extrême sud du district dans le flanc oriental et dans le cœur de l'anticlinal. L'intrusion est tardi-tectonique; l'érosion du toit n'a guère atteint la surface du granite, ce qui est démontré par l'abondance de grands îlots de roches  $\pm$  métamorphiques dans le massif.

Plusieurs phases tectoniques peuvent être différenciées dans la formation de l'anticlinal de Rutongo: 1. Plissement principal résultant d'axes plongeants légèrement vers  $340^\circ$ , 2. Un plissement par axes de direction N/S et des axes transversaux plongeants vers  $090^\circ$ ; par endroits bombement de couches par l'intrusion de granite, 3. La compression continue résulte de cassure des plis orientés N/S par la formation de failles de chevauchement le long du cœur de l'anticlinal; elles sont de direction N/S et de pendage est; le rejet du bloc supérieur vers l'ouest atteint plusieurs centaines de mètres, 4. Failles postérieures et sans corrélation avec le plan de déformation orogénétique.

La déformation de l'anticlinal de Rutongo est caractérisée par des plis transversaux, dont la direction forme un angle de  $90^\circ$  avec celle des plis principaux; les deux réseaux de plis sont contemporains. Leur formation s'explique par l'empêchement d'un allongement longitudinal de l'anticlinal; cet empêchement est dû à la localisation immédiatement au nord de l'anticlinal de la stampe épaisse du Synclinorium de Byumba.

L'étain dans le district minier de Rutongo est lié aux filons de quartz à cassiterite, muscovite, et peu de sulfures; les roches encaissantes sont souvent fortement altérées par tourmalinisation, séricitisation et occasionnellement par silicification. Les filons sont généralement localisés dans des bancs plus importants de roches compétentes de la stampe sédimentaire; il s'agit de champs de filons parallèles, dont les plus grands contiennent plusieurs centaines de filons. Les différents champs de filons peuvent être groupés en zones; la zone la plus importante, dont proviennent plus de 80 % de la production totale du district, se trouve immédiatement à l'est des failles de chevauchement. Cette zone principale atteint une longueur de plus de 6 km en direction N/S et une largeur de 1500 m. Les filons individuels sont généralement de direction N/S à pendage vers l'ouest. L'addition de l'épaisseur des filons à travers cette zone laisse conclure à un étirement de direction E/O de plus de 150 m. Cet étirement, qui a résulté de fractures logeantes les filons, est dû à l'accroissement de la vitesse du transport tectonique vers le cœur de l'anticlinal; ce transport s'est effectué par les failles de chevauchement, et c'est le bloc supérieur qui a subi l'étirement. Les filons se situent parallèles aux plans de l'effort maximum d'étirement, dans une corrélation symétrique indiscutable au plan de déformation de l'anticlinal existant dans les phases tectoniques 2 et 3.

Un front pneumatolytique-hydrothermale émanant du granite a résulté du remplissage de fractures filoniennes simultanément à leur ouverture. On peut différencier plusieurs faciés de la minéralisation, qui traduisent le passage du stade pneumatolytique au stade hydrothermale.

L'analyse géologique-tectonique du district de Rutongo mène à des indications utiles pour la recherche de gîtes primaires non-affleurants.

## 1. Einleitung

Der Bergbaudistrikt Rutongo hat seit den Anfängen der Exploitation um das Jahr 1930 rund 30 000 t Zinnsteinkonzentrat geliefert, was etwa 36% der Gesamtproduktion Rwandas (ca. 83 000 t von 1930—1974) entspricht. Von diesen 30 000 t stammen 15% aus Alluvionen, 40% aus Eluvionen über den primären Lagerstätten, und der Rest von rund 45% aus diesen letzteren, welche fast ausschließlich untertage gebaut werden.

Mit der bevorstehenden Erschöpfung der detritären Lagerstätten ist der Bergbau in zunehmendem Maße gezwungen, seine Planung auf die Erkundung und den Abbau der bekannten und die Suche nach bisher unbekanntem, verborgenen primären Lagerstätten abzustellen.

Im Rahmen einer Zusammenarbeit zwischen dem Geologischen Dienst Rwandas, dem UNO-Prospektionsprojekt in Rwanda und der teilverstaatlichten Bergbaufirma in Rutongo fiel dem Verfasser als Mitarbeiter der Österreichischen Technischen Hilfe in Rwanda die Aufgabe einer geologischen Neubearbeitung des Distriktes zu. Deren Ziel war es, die Höflichkeit des Gebietes für bisher unbekannte primäre Lagerstätten zu untersuchen, und Vorschläge zu ihrer Prospektion zu machen.

Die Geländearbeiten wurden von Februar bis Juli 1974 durchgeführt; sie bestanden aus einer geologischen Neukartierung des gesamten Distriktes im Maßstab 1 : 20 000 und zum Teil aus ausgedehnten Detailaufnahmen in allen Bergbauen des Revieres. Ein Abschlußbericht mit grundsätzlich positiven Ergebnissen für eine Suche nach neuen primären Lagerstätten im Distrikt und mit detaillierten Vorschlägen zu ihrer Prospektion wurde im Juli 1974 fertiggestellt (POHL 1974).

Im Folgenden sollen die neuen Beobachtungen zu Geologie und Tektonik des Distriktes und seiner Zinnlagerstätten sowie auch kurz die praktischen Rückschlüsse behandelt werden.

## 2. Der Geologische Rahmen

### 2.1. Morphologie

Rutongo liegt etwa 20 km nordnordwestlich von Kigali, der Landeshauptstadt. Der Distrikt ist bergig, mit Seehöhen zwischen 1350 und 2200 m. Das Relief ist durch flache, langgestreckte Höhenzüge gekennzeichnet, die durch Täler mit oft sehr steilen Flanken begrenzt werden.

Die Täler haben gewöhnlich einen kurzen, steilen Oberlauf, und weiten sich in der Folge zu sumpfigen, breiten Talböden, die nur gelegentlich durch querstreichende, harte Gesteinsrippen unterbrochen werden. Die Entwässerung erfolgt durch den Nyabugogo-Fluß, der den Osten des Distriktes in südlicher Richtung durchfließt. Seine Hauptzuflüsse aus dem Rutongo-Gebiet sind die Bäche Murindi und Rusine. Bei einer jährlichen Regenhöhe von rund 1150 mm besteht ein ganzjähriger Oberflächenabfluß.

Die oben abgeflachten Berge tragen gewöhnlich eine mehrere Zehner Meter mächtige Lateritdecke; zwei solcher Niveaus können unterschieden werden, eines um 2000 m, und ein tieferes um 1600 m (sh. auch LHOEST 1959). Sie

entsprechen wohl alten Verebnungsflächen, die durch junge Hebung und Zertalung nur in Relikten erhalten sind. Manche Talflanken tragen mächtige Akkumulationen umgelagerter Laterites.

Aufschlüsse sind auf den Höhen fast nicht existent, bis auf eine gelegentliche Überstreuung mit Quarz oder Ausbissen von besonders verwitterungsresistentem Quarzit. Der jungen Talbildung und starken rezenten Erosion entsprechend findet man die besten Aufschlüsse an Talflanken und in Durchbrüchen.

## 2.2. Stratigraphie

Das Alter der Gesteine um Rutongo ist präkambrisch; das Gebiet liegt innerhalb des burundischen Orogens, dessen Basis, das Ruzizi, um 1800 m.y. gefaltet worden ist, wogegen die burundische Hauptfaltung um 1240 m.y. angesetzt wird (CAHEN & LEPERSONNE 1967: 228).

Auf Grund der vorbildlichen Aufnahmen von LHOEST (1958, 1961) um Rutongo und Miyove und unter Verwendung einer reichen Literatur sowie neuerer Arbeiten von J. GERARDS et al. konnten GERARDS & LEPERSONNE (1964) für das östliche Rwanda folgende stratigraphische Unterteilung der burundischen Sedimente vornehmen:

Serie von Miyove:	1800 m Feinkonglomerate, Quarzite, Sandsteine und Schiefer
Serie von Byumba:	2500 m Quarzite, Sandsteine, Konglomerate und zurücktretend Schiefer
Untere Serie:	ca. 10 000 m vorwiegend pelitischer Gesteine; graphitische, serizitische oder sandige Schiefer mit Einschaltungen von Quarziten und Sandsteinen.

Darunter wird unter einer regionalen Diskordanz Unterlagerung durch Gesteine des Ruzizi vermutet, die jedoch in Rwanda noch nicht kartenmäßig erfaßt werden konnten.

Die Sedimentgesteine des Distriktes von Rutongo gehören in den oberen Bereich der Unteren Serie; folgende Niveaus werden unterschieden (abgeändert nach LHOEST 1958):

### Obergrenze der Unteren Serie

810 m *	schwarze und graue, z. T. graphitische Schiefer mit seltenen Sandsteinlagen
85 m *	Sandsteine und weiße Quarzite von Mulindi
1080 m *	graublau und schwarze, z. T. pyritische Schiefer
30 m	helle Quarzite von Nduba
400—800 m	Schiefer und sandige Schiefer, selten Sandsteinlagen
95 m	Quarzite von Mahaza
300 m	Schiefer mit seltenen Sandsteinlagen
120 m	Quarzite, Feinkonglomerate und Sandsteine von Karambo
50—350 m	Schiefer
70—170 m	dickplattige Quarzite und Sandsteine von Gisanze
60—150 m	sandige Schiefer
10—50 m	Quarzite und Sandsteine vom Hôpital
40—450 m	dünnplattige Quarzite, Sandsteine und Schiefer
80—130 m	Quarzite und Sandsteine von Rutongo-Gasambya
180 m	+ sandige Schiefer
15—30 m	Quarzite von Masoro
160—260 m	dunkle, sandige Schiefer
60—110 m	Sandsteine und Quarzite von Mugambazi
500 m +	graue, sandige Schiefer mit seltenen Sandstein- und Quarzitlagen; Basis unbekannt.

\* Mächtigkeitsangaben von LHOEST (1958)

Diese Aufstellung zeigt recht deutlich den rhythmischen Charakter dieser Schichten, wechselnd zwischen pelitischer und psammitischer Fazies. Nicht selten sind in den psammitenreicheren Partien verschiedene sedimentäre Strukturen zu beobachten, wie Strömungsrippel, gradierte Schichtung und Wickelstrukturen (convolute bedding). Wichtig erscheint die Feststellung der bedeutenden Mächtigkeitsschwankungen einzelner Schichten schon über geringe Entfernungen. Durch diese inherente Inhomogenität des Schichtstapels wurde zweifellos die spätere Verformung maßgeblich beeinflusst.

Wenige Kilometer westlich von Rutongo, im Antiklinorium von Bumbogo, ist die Untere Serie durch das Auftreten graphit- und pyritreicher Gesteine charakterisiert. Diese Fazies ist in der Antiklinale von Rutongo selten und unbedeutend.

### 2.3. Tektonik

Rutongo liegt in einer bedeutenden tektonischen Aufwölbung, die von LHOEST (1958) „Antiklinale von Rutongo“ benannt worden ist. GERARDS & LEDENT (1970) benützen ohne Kommentar den Ausdruck „Antiklinorium von Rutongo“, allerdings um die regionale tektonische Großform zu bezeichnen. In der vorliegenden Arbeit, wo ja der engere Bereich von Rutongo behandelt wird, soll im Weiteren der Ausdruck „Antiklinale“ verwendet werden.

Die Antiklinale von Rutongo fällt flach nach NNW ein; sie ist nach Westen vergent. Der Ostflügel fällt flach ein, der Westflügel dagegen steil, und er ist stellenweise sogar überkippt. Gegen Osten schließt die Synklinale von Nzokorwamahili an, gegen Westen diejenige von Yanza; nach Norden taucht die Aufwölbung unter das Synklinorium von Byumba, nach Süden jedoch öffnet sie sich weit und enthält dort den Granit von Kigali, der über mehr als 200 km<sup>2</sup> verbreitet sein dürfte (s. Abb. 1).

Auffällig ist die teilweise bereits von LHOEST (1958) kartierte komplizierte Tektonik des Kernes dieser Antiklinale; es treten dort sekundäre Falten subparallel und transversal zur Hauptachsenrichtung auf, weiters Aufschiebungen und domartige Aufwölbungen.

Die tektonische Karte des Distriktes von Rutongo (Tafel I) nach den Kartierungsergebnissen des Autors erweitert und präzisiert die bisherigen Kenntnisse:

Die Hauptachse der Antiklinale fällt flach nach 340°; parallele Falten wesentlich kleinerer Dimensionen, die als Schleppfalten gedeutet werden, finden sich am Westflügel der Antiklinale. Kleine Transversalfalten mit einem Achseneinfallen nach 060° (siehe Abb. 2) dürften gleichzeitig mit der Hauptfalte entstanden sein.

Daneben finden sich Achsen mit allgemein ebenfalls flachem Einfallen nach Norden bzw. selten Süden, mit Amplituden von mehreren Hundert Metern; diese Achsen treten nur am Ostflügel und am Scheitel der Antiklinale auf, ebenso wie die ihnen zuordenbaren Transversalfalten nach 090°, welche nach Osten in flache Wellungen übergehen.

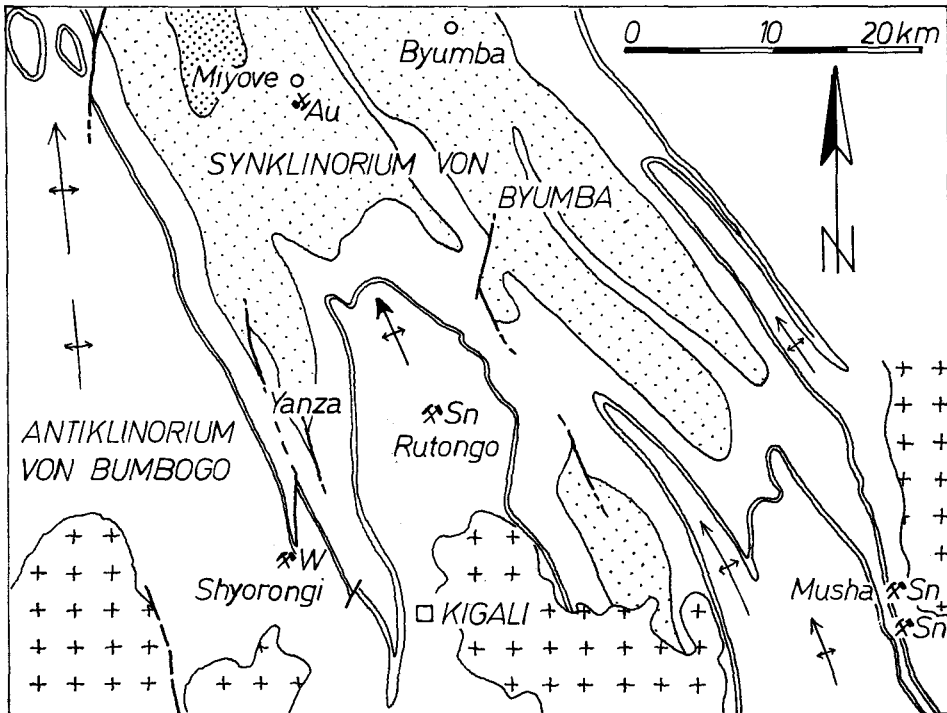


Abb. 1: Tektonische Lageskizze der Antiklinale von Rutongo (nach GERARDS „Esquisse Géologique du Rwanda“ in GERARDS & LEDENT 1970, gering abgeändert). 1 = Serie von Miyove, 2 = Serie von Byumba, 3 = Untere Serie mit Quarzit von Nduba, 4 = Granite und Metamorphite

Schließlich sind die Brachyantiklinale von Nyirabukungule (Diagramm F auf Tafel I) und der Dom von Nyabugogo (Diagramm B auf der Tafel I) zu nennen, deren Baustil wesentlich von den vorerwähnten Falten differiert. Diese beiden Aufwölbungen werden in Analogie zu den Strukturen des südlichsten kartierten Bereiches, wo Granit aufgeschlossen ist (Diagramm A auf Tafel I), als durch verborgene Granitkuppeln verursacht gedeutet. Weitere, doch kleinere Granitkuppeln mögen in den durch Querverfaltung der Scheitelregion der Antiklinale entstandenen „tektonischen Hochs“ verborgen sein, doch sind die Deformationen hier eindeutig jene einer Einengungsbeanspruchung. Granit könnte aber in einer eher passiven Weise in manche dieser Sattelkerne eingepreßt worden sein. Hinweise darauf ergeben sich aus faziellen Beobachtungen an der Gangfüllung mancher Lagerstätten im Distrikt.

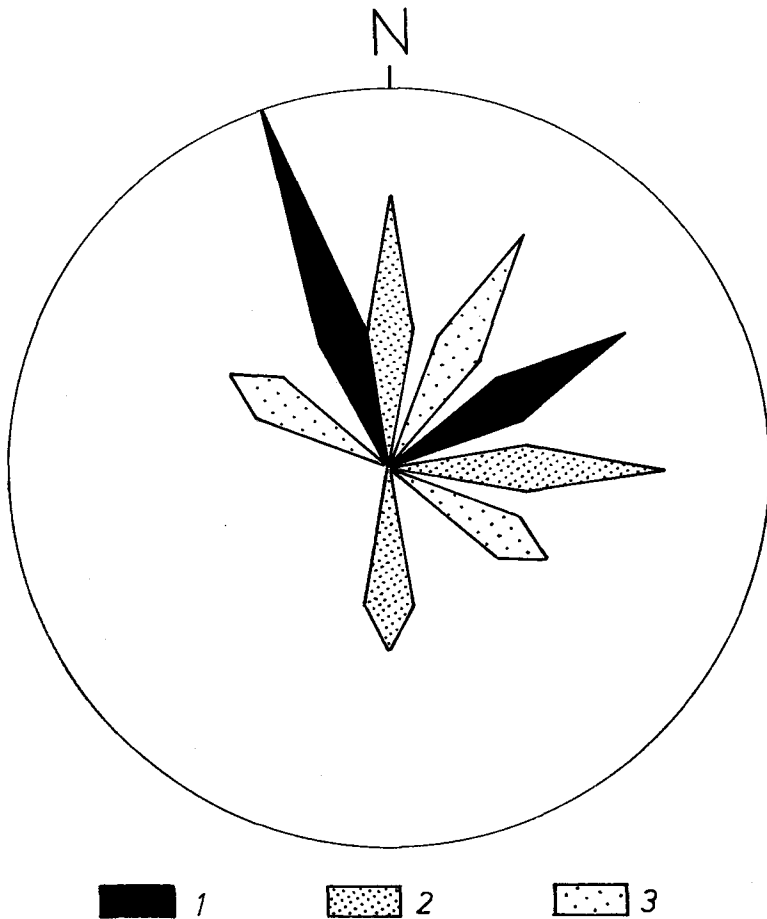


Abb. 2: Schema der Achsenrichtungen in der Antiklinale von Rutongo. 1 = regionale Hauptachse mit lokalen Querwellungen, 2 = Achsen mit räumlicher Bindung an Zinnlagerstätten, 3 = Aufwölbungen und Wellungen geringerer Bedeutung

Entlang des Scheitels der Antiklinale streichen mehrere Aufschiebungen Nord-Süd, mit flachem bis mittelsteilem Einfallen nach Osten. Bisher waren nur zwei davon im oberen Zanzari-Tal bekannt; nun wurde eine dritte, parallele, aufgefunden, und die streichende Verlängerung dieser Störungen wurde sowohl nach Norden wie auch nach Süden auskartiert. Sie haben sich damit als wesentlich wichtiger erwiesen, als bisher angenommen wurde. Infolge der Symmetriebeziehungen zu den Nord-Südachsen und im Gelände erkennbarer direkter Zusammenhänge (Abb. 4) wird vermutet, daß die Anlage dieser Aufschiebungen im Durchreißen der Nord-Südfalten liegt, nachdem eine weitere Einengung durch Faltung nicht mehr möglich war. Ebenso zutreffend ist diese Deutung für die quer zur Hauptachse streichende Aufschiebung nördlich des Bergbaues Rutongo, wo eine transversale Synklinale



durch Zuschub von Süden her, welcher durch die ausgeprägte Nordvergenz der östlich abtauchenden Antiklinale von Rutongo s.s. bewirkt wurde, „überwältigt“ worden ist.

Im Süden des kartierten Bereiches treten annähernd NE-SW verlaufende steile Störungen auf, an denen die jeweilige Südscholle abgesenkt ist. Diese Bewegungen gehören nicht zur Einengungstektonik wie alle vorerwähnten, und sind jedenfalls jünger als diese.

Das Verformungsbild der Antiklinale von Rutongo wird durch das Auftreten z. T. nordvergenter Transversalachsen charakterisiert; diese sind umso bedeutender, je näher sie dem Scheitel liegen, wo sie Amplituden von mehreren Hundert Metern erreichen können. Aus den Symmetriebezeichnungen und dem Geländebefund ergibt sich zwingend die Gleichzeitigkeit der jeweiligen Längs- und Querfalten, was nur durch den lokalen Aufbau einer sekundären Einspannung quer zur Richtung der Haupteinengung erklärt werden kann. Es wird angenommen, daß diese Einspannung in annähernder Nord-Südrichtung durch eine Behinderung der Längsausdehnung und Stauchung der Antiklinale von Rutongo am nördlich auflastenden Schichtstapel des Synklinorium von Byumba verursacht ist; Längsausdehnung durch Faltung ist ein häufig beobachtetes Phänomen (SCHMIDT-THOMÉ 1972: 157). An der Lokalisierung und Ausbildung mancher dieser Strukturen sind ferner zweifellos auch die sedimentär angelegten Inhomogenitäten der Schichtfolge der Antiklinale beteiligt.

Der Faltungstypus innerhalb der Antiklinale von Rutongo ist im wesentlichen die Biegefaltung mit Übergängen zu kongruenter Faltung. Diese letztere wird durch Materialwanderung von den Schenkeln der Falte in den Scheitelbereich charakterisiert (SCHMIDT-THOMÉ 1972: 194). Die inkompetenten Gesteine zeigen nicht selten Schleppefaltung zwischen kompetenten Bänken, gelegentlich auch Schieferung durch Zerscherung. Nur in den höher metamorphen Gesteinen des Südens der Antiklinale ist Transversalschieferung die Regel, z. T. in zwei Generationen, wodurch es zu einer sigmoidalen Schleppefaltung (SCHMIDT-THOMÉ 1972: 178) mancher Schiefer kommt.

In der Verformungsgeschichte der Antiklinale von Rutongo unterscheiden wir folgende Phasen:

- Phase 1: Hauptfaltung nach Achsen mit flachem Einfallen nach  $340^\circ$  und  $060^\circ$
- Phase 2: Bei geringer Verschwenkung der Einspannung weitere Faltung geringerer Amplituden mit Achsen in N/S-Richtung und Transversalachsen nach  $090^\circ$ ; Bildung flacher Aufwölbungen durch Intrusion von Granit
- Phase 3: Weitere Einengung führt zu bruchhafter Deformation; Bildung der flachen Aufschiebungen
- Phase 4: Querstörungen des Südens, weiters kleine Verstellungen, die in den Lagerstätten beobachtet sind (Störungen von Gisanze, u. a.)

## 2.4. Metamorphose und Granit

Die Gesteine der Antiklinale von Rutongo sind im Allgemeinen anchimeta-morph, mit gelegentlichen Übergängen zur Serizit-Chlorit-Fazies der Grün-schieferfazies. Schon in der Frühzeit geologischer Arbeit in Rwanda (DELHAYE & SALEE 1928: Carte géologique de l'Urundi et du Rwanda 1 : 200.000) wurden im Süden von Rutongo höher metamorphe Gesteine aufgefunden; man stellte sie damals in das Ruzizi, LHOEST (1958) jedoch erkannte, daß es sich dabei um höher metamorphe Äquivalente der burundischen Schichtfolge handelt. Er beschrieb den Übergang von serizitischen Tonschiefern im Norden zu kleingefalteten Serizit- und Muskovitschiefern des Kernes der Antiklinale im Süden. Da diese Zunahme der Metamorphose gleichsinnig mit der An-näherung an den Granit von Kigali auftritt, führt LHOEST (ibid.) sie auf die Kontakteinwirkungen des Granites zurück.

Häufig ist in allen Bereichen der Antiklinale Neubildung von Turmalin und Serizit (Muskovit); der Turmalin in den Schiefern sproßt vielfach beobachtet quer durch Schieferung und Kleinfältelung, ist also jünger als diese.

Im äußersten Süden des kartierten Bereiches ist seit LHOEST (1958) Granit bekannt. Das Gestein besteht aus Quarz, Muskovit, serizitisierten und kaolini-sierten Feldspäten, und akzessorisch schwarzem Turmalin. Es ist massig, homogen, von hellgrauer bis weißer Farbe, und sehr feinkörnig (unter 5 mm Korngröße).

In diesem Aufschluß auf dem Hügel von Giheka (unmittelbar südwestlich des Diagrammes A auf Tafel I) wird ein horizontal von Westen nach Osten diskordant eingedrungener Granitkeil von kleingefalteten Serizitschiefern und gering serizitischen Sandsteinen unter- und überlagert. Die Grenze zwischen Sedimenten und Granit ist scharf im Zentimeterbereich; die unmittelbar an Granit angrenzenden Gesteine zeigen nur geringe makroskopisch erkennbare Veränderungen, was sich vor allem in den Sandsteinen durch eine schwache Kornvergrößerung und Muskovitneubildung bis etwa 10 cm vom Kontakt äußert. Nur im Granit selbst sind in diesem Aufschluß einige schmale, sub-vertikale Quarz-Muskovitgängen entwickelt.

Dieser hier aufgeschlossene Granit ist Teil des Granites von Kigali, der im Begleittext des Kartenblattes Kigali (Carte Géologique du Rwanda, 1 : 100.000, 1967) folgendermaßen charakterisiert wird: Gleichkörniges bis pegmatitisches Gestein, oft serizitisiert und kataklastisch beansprucht; mit Muskovit und Turmalin, zurücktretend Biotit. Diese Karte zeigt weiter die diskordante Natur des Granitmassivs, das quer durch die Falten der Sedimente schlägt. Das als Granit ausgeschiedene Areal weist nach BERTOSSA, GERARDS & PETRICEC (1964) große, schwer auskartierbare Enklaven von mehr oder weniger metamorphen Sedimentgesteinen auf.

Das Auftreten solcher in ihrer Lagerung oft kaum veränderter Enklaven von Nebengesteinen läßt darauf schließen, daß der Granit von Kigali nur bis zu seiner reich strukturierten Oberfläche angeschnitten ist. Tiefer abgetragene Granitmassive Rwandas lassen nach GERARDS & LEDENT (1970) drei verschiedene Granitgenerationen unterscheiden: Adamellitische Bändergneise, die als syntektonische Granite und Granitisationsprodukte gedeutet werden; weiters intrusive Zweiglimmergranite, und schließlich hyperalkalische, z. T. pegmatitische posttektonische Muskovitgranite.

Der Granit von Kigali gehört seinen Merkmalen nach zur jüngsten dieser Generationen. In Analogie zu den Verhältnissen in anderen Granitmassiven und auf Grund der beschriebenen Aufschlüsse deuten wir die Befunde in der Antiklinale von Rutongo dahingehend, daß die nach Süden zunehmende Metamorphose nicht als Kontaktmetamorphose des aufgeschlossenen Granites von Kigali aufgefaßt werden kann. Es handelt sich vielmehr um eine frühere, syn-tektonische Einwirkung einer „Wärmebeule“ (WINKLER 1965), die die Bildung der epi- bis mesozonalen kristallinen Schiefer verursachte, in welche dann in der Folge der Granit von Kigali spätektonisch intrudiert ist, ohne wesentliche Kontakterscheinungen in den Neben- bzw. Dachgesteinen zu bewirken.

Weiters kann mit gutem Grunde angenommen werden, daß die Turmalinisierung der Gesteine in weiten Bereichen der Antiklinale ebenso wie die Bildung der Kassiterit-Quarz-Gänge auf eine „pneumatolytische Front“ (RAGUIN 1965) des Granites von Kigali zurückgeht, dessen flaches Dach im aufgeschlossenen Bereich eine Unterlagerung auch der nördlicheren Teile der Antiklinale durch Granit mit einzelnen Kuppen in den beobachteten Aufwölbungen wahrscheinlich erscheinen läßt. In ganz ähnlicher Weise haben VARLAMOFF (1958) und FRISCH (1971) die Bindung einzelner Granitkuppeln an tektonische Aufwölbungen vertreten.

Auffallend ist das Fehlen von Pegmatiten im Gefolge des Granites von Kigali im Gegensatz zu anderen Massiven West- und Ostrwandas, die eine reiche Abfolge z. T. erzführender Pegmatite aufweisen. VARLAMOFF (1972) weist darauf hin, daß die Intrusionstiefe von Graniten das Auftreten, die Ausmaße und die Erzführung zugehöriger Pegmatite kontrolliert; ein weiterer bedeutsamer Faktor ist aber zweifellos die zeitliche Beziehung von Granitintrusion und tektonischen Vorgängen, welche letztere oft erst die Abtrennung und Lokalisierung pegmatitischer Restmagmen ermöglichen. Mangels entsprechender Detailuntersuchungen in Rwanda ist eine weiterführende Diskussion dieser Frage nicht sinnvoll.

### 3. Zinnlagerstätten

Die primären Zinnlagerstätten des Distriktes von Rutongo sind an Quarzgänge gebunden, die bevorzugt in den kompetenten Gesteinen der Schichtfolge auftreten. In den wichtigeren Lagerstätten handelt es sich um ausgedehnte Felder etwa subparalleler Gänge. Diese Gangfelder können Hunderte von Einzelgängen umfassen, wie etwa im Bergbau Rutongo-Nyamyumba, oder nur einzelne wie in den wirtschaftlich unbedeutenden Vorkommen.

Die Tafel II zeigt alle Bergbaue des Distriktes und ihre Gesamtproduktion an Kassiterit von 1930—1974, wobei die einzelnen Lokalitäten durch die Art der Darstellung ihrer Bedeutung gemäß aufscheinen. Nur sechs Lagerstätten haben mehr als 1000 t geliefert: Mugambazi, Masoro, Rutongo-Nyamyumba, Gamsambya, Karambo und Mahaza. In die Tafel eingetragen sind ferner die Flächen der abgebauten alluvionären Lagerstätten mit ihrer Gesamtproduktion.

Alluvionen werden zur Zeit nicht mehr abgebaut, wenn auch bekannt ist, daß noch weite Strecken der Täler niedrighaltige Lager führen, deren Untersuchung und Abbau jedoch infolge der hohen Wasserführung der Bäche und z. T. Überlagerung durch Abraum als höchstens marginal wirtschaftlich angesehen werden.

Von den sechs wichtigsten primären Lagerstätten stehen derzeit (1974) Masoro, Rutongo und Mahaza in voller Produktion, wobei hier der größte Anteil aus untertägigem Abbau der Gänge stammt. Daneben werden an vielen Stellen zinnführende Eluvionen oft mittels primitivster Methoden ausgebeutet, die insgesamt etwa 30% zur durchschnittlichen Jahresproduktion des Distriktes von 800 t Zinnsteinkonzentrat beitragen mögen.

### 3.1. Die Quarzgänge

Die Füllung der Gänge besteht weit überwiegend aus Quarz, dazu Muskovit und Kassiterit; seltener sind Kaolin (z. T. aus Feldspäten), Turmalin, Rutil/Ilmenorutil, Arsenkies, Pyrit, Kupferkies, Bleiglanz und ausnahmsweise Gold, das bisher allerdings nur in Zinnalluvionen gefunden wurde. Hämatit und Goethit treten vielfach als dünne Klüftbeläge in den Gängen auf.

Die allgemeine Ausscheidungsfolge wird nach den beobachteten Verhältnissen folgendermaßen vermutet:

1. Serizitisierung und Turmalinisierung des Nebengesteins
2. Muskovit und Kassiterit, wenig Quarz, selten Feldspat in z. T. schichtgranitischer Verwachsung mit Quarz, Rutil
3. Quarz und Kassiterit
4. Quarz mit Arsenkies und anderen Sulfiden
5. Hämatit und Goethit in Klüften auf Quarz

Wir halten auf Grund der Paragenese die Phasen 1 und 2 für pneumatolytisch im Sinne von SCHNEIDERHÖHN (1955), wogegen die Phasen 3 bis 5 eher hydrothermalen Natur sind.

Die Salbänder der Gänge sind oft deutliche Klüfte, eben oder auch wellig gekrümmt; manchmal sind sie Störungen mit erkennbarem Verstellungssinn und Lettenbelägen. Häufig ist aber auch völlig unregelmäßige Begrenzung der Gänge, was dann zusammen mit eckigen Ausbrüchen des Nebengesteins Spaltenbildung durch ausschließliche Zugbeanspruchung belegt. Die Übergänge von Quarzgang zu Nebengestein können aber auch verlaufend sein, etwa durch „Anbacken“ des Quarzes an Quarzit, oder wenn an serizitisiertes Nebengestein Gangmuskovit grenzt.

Serizitisierung und Turmalinisierung dringen von Gangspalten aus wolkenförmig ins Nebengestein vor, wobei sie Schichtfugen oder feinste Klüfte benützen. An den Salbändern findet sich häufig ein Saum von grobblättrigem Muskovit, der in Ausnehmungen der Salbänder und am Gangfuß gewöhnlich in großen Taschen auftritt, in denen auch Kassiterit angereichert ist. In der Gangmasse selbst tritt Kassiterit zurück; als mineralogische Seltenheit im Revier gelten Imprägnationen von Zinnstein im veränderten Nebengestein.

Trotz der relativen Nähe des Distriktes zur etwa 12 km süd-westlich gelegenen Wolframlagerstätte von Shyorongi sind in Rutongo weder Wolframminerale gefunden worden, noch haben Spurengelhaltanalysen einer Kassiteritprobe aus Rutongo (SCHRÖCKE 1055) einen Wolframgehalt nachgewiesen.

Der Anteil der Sulfide ist an sich unbedeutend; da jedoch die Qualität der Zinnkonzentrate gelegentlich durch sie beeinträchtigt wurde, hat man einige Male die Gehalte pro Tonne Rohkonzentrat bestimmt. Sie lagen meist um einige 10 g; der höchste gefundene Wert war 1,5 kg und stammte aus Karambo. Umgerechnet auf das Gangmaterial entspricht das einem Anteil von unter 0,01% Sulfiden.

Auf Grund unserer Beobachtungen scheint eine Unterteilung der Quarzgänge in verschiedene Fazies möglich zu sein, deren Kartierung aber aus Zeitgründen und wegen der Komplikationen durch vielfache Überlagerung der Typen nicht möglich war; vermutlich könnten Verteilungskarten der Gangfazies im Distrikt und in einzelnen Lagerstätten wesentlich zu einem besseren Verständnis der Verteilung reicherer und ärmerer Zonen beitragen.

Folgende Fazies sind deutlich unterscheidbar:

1. Glasiger, wasserklarer Quarz mit eingewachsenem Turmalin, meist undeutlich gegen das Nebengestein begrenzt; z. T. wohl durch Sammelkristallisation und Mobilisation von Kieselsäure entstanden.
2. Milchig-weißer oder hellgrauer Quarz mit Muskovit, z. T. Kaolin, Kassiterit, Goethit in Klüften; Nebengestein oft stark verändert; Salbänder eher scharf
3. Milchig-weißer Quarz mit mehr Sulfiden; wenig oder kein Kassiterit, Goethit; Salbänder scharf
4. Steriler, milchig-weißer oder hellgrauer Quarz,  $\pm$  Goethit

### 3.2. Die Gangfelder

Die Gänge treten fast ausschließlich in den psammitischen Gesteinen der Schichtfolge auf; am besten sind sie in mächtigeren, dichten Quarzitbänken entwickelt. Nur die größten Gänge durchschlagen gelegentlich auch die angrenzenden weicheren Sandsteine und Schiefer bis zu einigen Zehner Metern Entfernung vom Quarzit.

Die Mächtigkeit der bauwürdigen Gänge liegt um 1 m, schwankt jedoch in weiten Grenzen, von einigen Zentimetern bis über 10 m. Ebenso wechselnd sind die Längs- und Höhenausmaße der Gänge, die im allgemeinen von der Erstreckung des sie einschließenden Quarzites abhängen, doch auch von der Gangdichte. Es ist nämlich beobachtbar, daß bei Auftreten einer größeren Anzahl von Gängen pro Flächeneinheit die Dimensionen der einzelnen geringer sind als im umgekehrten Fall.

Die Aufnahmen in den Bergbauen des Revieres haben ergeben, daß es sich in den meisten Fällen um sehr regelmäßige Gangfelder handelt. Die Tafeln III und IV sollen am Beispiel des wichtigsten Bergbaues des Revieres, Rutongo, den Typus dieser Lagerstätten veranschaulichen.

Die Lagerstätte Rutongo liegt in einer Transversalantiklinale, deren Achse mit etwa  $40^\circ$  nach Osten abtaucht. Der Südschenkel zeigt eher flaches Einfallen mit  $30^\circ$  bis  $40^\circ$ , wogegen der Nordschenkel steil mit  $50^\circ$  bis  $80^\circ$  einfällt; die Antiklinale ist also asymmetrisch und nach Norden vergent.

Die Gänge der Lagerstätte liegen im Quarzit von Rutongo-Gasambya. Dieser besteht hier aus einer hangenden Quarzitbank mit unbedeutenden Sandsteinlagen von insgesamt rund 30 m Mächtigkeit, der nach unten eine etwas sandstein- und schieferreichere, darum weichere Bank folgt; die stratigraphisch tiefste Schicht ist ein 30 m mächtiger, harter und massiger Quarzit, den schließlich die Liegendschiefer unterlagern.

Im Detail erweist sich diese Abfolge als eine rhythmische Wechsellagerung von Peliten und weit überwiegend Psammiten, mit eingestreuten Lagen von Feinkonglomeraten. Gradierte Schichtung ist fast die Regel; die Schichtfugen sind häufig nicht parallel und lateral wenig kontinuierlich; nur mächtigere Sandstein- oder Schieferlagen sind über mehrere Hundert Meter verfolgbar.

Die größte Zahl von Gängen findet sich in der äußersten, stratigraphisch höchsten, massigen Quarzitbank von 10 bis 15 m Mächtigkeit. Der Bergbau benötigt infolge der geringen durchschnittlichen Zinngehalte und der weitgehend unvorhersagbaren Verteilung des Erzes in den Gängen eine größtmögliche Zahl von Angriffspunkten, um eine kontinuierliche Produktion zu erreichen. Aus diesem Grunde spielt der Begriff der „Gangdichte“ (= addierte Mächtigkeit der Gänge quer zum Streichen in % pro Längeneinheit ausgedrückt) eine bedeutende Rolle; fällt dieser Wert unter 7%, ist die Wirtschaftlichkeit des betreffenden Lagerstättenteiles in Frage gestellt. Deshalb wird vor allem die hangendste Quarzitbank durch Streichenauffahrungen und Querschläge erschlossen, da dort erfahrungsgemäß mit günstigen Verhältnissen gerechnet werden kann. Gegen den Kern der Antiklinale werden nur aushaltende und gut verzerte Gänge aufgeföhren, eine planmäßige Untersuchung der tieferen Quarzitbank wird aber unterlassen.

Die Gänge fallen durchschnittlich mit 60° nach Westen, doch sind Fallrichtungen zwischen SW und NW feststellbar (sh. Lagenkugeldiagramm auf Tafel III und IV, sowie die Richtungsrose „Rutongo“ auf Tafel I). Länge und Höhe der Gänge betragen generell nur wenige Zehner Meter, doch sind viele auch mehrere Hundert Meter im Streichen verfolgt worden. An Schichtflächen oder sandig-tonigen Einlagerungen im Quarzit sind die Gänge oft eingengt oder unterbrochen, um sich in der folgenden Quarzitbank wieder auszuweiten und erneut einzustellen. Gangkreuze und -verzweigungen sind nicht selten, und gewöhnlich gut verzert. Andere Erzfälle befinden sich oft am Fuß der Gänge und an Stellen, wo diese Schichtfugen oder schmale Sandstein- und Schieferlagen durchschlagen; dort sind auch die Nebengesteinsveränderungen besonders intensiv.

Die Gänge von Rutongo haben Anlaß zur Bildung bedeutender Eluvionen über ihrem Ausbiß gegeben, die unter einer mehrere Zehner Meter mächtigen Lateritdecke lagen; sie wurden in einem Tagbau von etwa 200 × 1000 m Ausdehnung abgebaut, der aber heute praktisch erschöpft ist. Der Grubenbau umfaßt mehrere Niveaus, von denen zur Zeit die drei tiefsten in Abbau bzw. Entwicklung stehen; die bekannte Zinnversetzung in der Lagerstätte erstreckt sich vom dzt. tiefsten Niveau (1670 m) bis zum Tagbau (1880 m) über 210 m Saigerhöhe. Die Fazies der Mineralisation scheint sich über diesen bekannten Bereich nicht zu ändern. Die weitere Teufenfortsetzung der Gänge ist nicht untersucht.

Die Verhältnisse in den anderen Lagerstätten des Revieres sind denen von Rutongo grundsätzlich vergleichbar. Auf Tafel I zeigen die Richtungsrosen das Gangstreichen derjenigen Lagerstätten und Vorkommen, wo die Anzahl der auftretenden Gänge solche Darstellungsart sinnvoll macht. Es wird daraus ersichtlich, daß in den Bergbauen Karambo, Murambi, Gasambya, Rutongo, Masoro und im unbedeutenden Vorkommen von Nyamweru (hier ist die Gangdichte in der Größenordnung von 0,01%) sowie in Mahaza grundsätzlich N/S-Streichen der Gänge vorherrscht, das Einfallen der Gänge ist generell steil nach Westen. Abweichend ist das Gangstreichen von Nduba und Gasura im Osten des Distriktes, sowie von Gisanze im Westen.

### 3.3. Die Lagerstättenzonen

Aus einer Betrachtung der Tafel II unter Beachtung des durchschnittlichen Gangstreichens der Lagerstätten (Tafel I) ist ersichtlich, daß die Lagerstätten

und Vorkommen des Distriktes in Zonen mit allgemein Nord-Süd-Längsrichtung angeordnet sind. Gangfelder treten dort auf, wo eine solche Zone kompetente Gesteine durchschneidet. Daß diese Beobachtung nicht in allen Fällen Gültigkeit besitzt, ist einerseits darauf zurückzuführen, daß daneben noch andere, später zu erörternde Kriterien bestehen, andererseits aber auch die Tatsache, daß die Suche nach primären Lagerstätten ohne Überlagerung durch bauwürdige Eluvionen bisher im Distrikt vernachlässigt worden ist.

Folgende Zonen können unterschieden werden:

- Zone 1: Bestehend aus den Lagerstätten Mugambazi, Masoro, Rutongo-Nyamyumba, Gasambya, Murambi und Karambo; diese Zone liegt unmittelbar östlich des Ausstreichens der westgerichteten Aufschiebungen, sie ist 500—1500 m breit und über 6 km lang.
- Zone 2: Kleine Lagerstätten und Vorkommen von Kiyanza, Mulehe, des oberen Kabindo-Baches, von Kirwa, des oberen Mareng-Baches und der mittleren Murindi.
- Zone 3: Der Bergbau Mahaza, und kleinste Vorkommen an der Mündung des Mareng-Baches in den Nyabugogo.
- Zone 4: Die kleinen Bergbaue von Kulisha, Gasura, Nduba und Karama.
- Zone 5: Der Bergbau Gisanze mit kleinen Vorkommen der Scheitelzone und des Westflügels der Antiklinale.

Diese getroffene Einteilung ist etwas schematisierend, indem in dieser Einheit nicht überall Vergleichbares zusammengefaßt wird; so ist vor allem die Zone 5 sehr inhomogen. Trotzdem halten wir diesen Versuch für sinnvoll, da uns das Schema als Arbeitsbasis zur Diskussion von Gemeinsamkeiten und Unterschieden dienlich erscheint.

#### 4. Diskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Zusammenfassend können wir nun feststellen, daß die wichtigsten Lagerstätten des Distriktes von Rutongo in einer Zone mit Nord-Süd-Erstreckung liegen, welche den Scheitel der kompliziert verformten Antiklinale begleitet. Gangfelder geringerer Bedeutung liegen über den gesamten Ostflügel der Struktur verbreitet, und treten vereinzelt auch am Westflügel auf. Die Gänge gehören zum pneumatolytisch-hydrothermalen Gefolge eines Granites, der während einer tektonischen Einengungsphase nach der eigentlichen Hauptfaltung intrudiert ist.

Die Frage nach der zeitlichen Einordnung der Entstehung der Gangklüfte, ihrer Öffnung und Füllung wurde bisher von LHOEST (1957) und ADERCA (1957) behandelt.

LHOEST vertrat die Ansicht, daß die Gangklüfte während der Hauptfaltung als Auswirkung einer Transversalschieferung in den kompetenten Gesteinen entstanden sind, und in der Folge durch Aufwölbung des Scheitelbereiches der Antiklinale bei Intrusion des Granites geöffnet und gefüllt werden. Wir möchten dieser Deutung entgegenhalten, daß

1. eine Transversalschieferung gerade im Bereich der wichtigsten Lagerstätten, also innerhalb der Zone 1, nur ganz lokal ausgebildet ist. Es ist nicht wahrscheinlich, und widerspricht allgemeinen Beobachtungen (SCHMIDT-THOMÉ 1972: 58), daß weitdurchstreichende Schieferungsflächen in kompetenten Gesteinen auftreten, solange die inkompetenten Anteile der Schichtfolge nicht allgemein geschiefert sind.

2. die beobachtete Natur der Salbänder gegen eine einzige Entstehungsart der Gangklüfte spricht (s. o. 3.1.); es handelt sich offenbar um Flächen verschiedenster Entstehung, die dann in die Spaltenbildung einbezogen wurden, wenn sie etwa normal zur Richtung der größten Zugbeanspruchung lagen.
3. die Annahme einer Öffnung der Gangklüfte durch Magmenaufstieg und Aufwölbung der Deckschichten durch die tektonischen Beobachtungen widerlegt wird; die größten Zugbeanspruchungen würden in diesem Fall parallel zur Längsachse dieser Aufwölbungen liegen müssen (SCHMIDT-THOMÉ 1972: 206). Das trifft auf die Brachyantiklinale von Nyirabukingule (Diagramm F auf Tafel I) nicht zu, ja diese hat überhaupt keine zuordenbare Gangfelder im Gefolge. Ähnliches gilt für den Dom von Nyabugogo (Diagramm B auf Tafel I), wo auf Grund der Form der Struktur am ehesten radiale Gänge zu erwarten wären. Die vermuteten kleinen und kleinsten Granitkuppeln der Scheitelzone aber hätten Gangfelder erzeugen müssen, die auf Grund der entsprechenden kleinst-räumigen Homogenbereiche der Beanspruchung äußerst vielfältige Strukturen aufweisen müßten. Die regionale Untersuchung ergab aber die oben beschriebene, klare, großräumige Anlage der wichtigsten Lagerstättenzone.

ADERCA (1957: 285) schließt seine kurze Abhandlung, die im wesentlichen auf Beobachtungen im Bergbau Rutongo beruht, mit der Folgerung, daß „das Ganze den Eindruck eines Spaltennetzes mehrerer zusammenhängender Richtungen macht, wobei der größte Teil dieser Spalten der Ebene größter Druckbeanspruchung parallel liegt, transversal zur Schichtung, nämlich der Ebene der Boudinage“ (Original in Französisch, übersetzt vom Verfasser).

Wir schließen uns dieser Auffassung an, glauben aber, daß eine Präzisierung in Hinblick auf die mehraktige und komplizierte Verformungsgeschichte der Antiklinale von Rutongo notwendig ist.

Es handelt sich also grundsätzlich um eine bruchhafte Dehnung der kompetenten Gesteine des Ostflügels der Antiklinale im Hangenden der Aufschiebungen. In den Lagerstätten beträgt diese Dehnung maximal 15%; wenn auch für den gesamten Ostflügel ein viel geringerer Durchschnittswert anzunehmen ist, so muß doch die Gesamtdehnung in Hinblick auf den schätzbaren Wert von 150 m + für die Zone 1 alleine in der Größenordnung von einigen Hundert Metern liegen.

Die Raumlage der Gänge der Zonen 1—3 läßt eine eindeutige Symmetriebeziehung zum Deformationsplan der tektonischen Phasen 2 und 3 erkennen, welche durch westverengte Falten mit N/S-streichenden Achsen gekennzeichnet sind; darauf bezogen sind die Aufschiebungen der Phase 3 ebenso wie die Hauptlage der Gangklüfte hol-Flächen. Trotzdem sind die Gangklüfte nicht der Faltung zuordenbare Scherflächen in hol, da die Verformung in diesem Stadium rasch durch die Aufschiebungen übernommen wird, und die dazugehörige zweite Scherflächenschar nicht zur Ausbildung gelangt. Der Schichtstoß über den Aufschiebungsflächen wird nun durch das Voreilen der scheinbar näheren Teile gedehnt, welches durch das Strömen von Material in die Scheitelregion beim Übergang von Biegefaltung zu kongruenter Faltung bedingt ist (SCHMIDT-THOMÉ 1972: 194). Durch diese Zerrung werden in



den kompetenten Gesteinen Spalten geoffnet, in welche teilweise auch ältere Klüfte verschiedenster Entstehung einbezogen werden, soferne ihre Raumlage annähernd mit der der großten Zugbeanspruchungen übereinstimmt.

Diese Deutung der Entstehung der Gangspalten wird in der Abbildung 3 schematisch dargestellt.

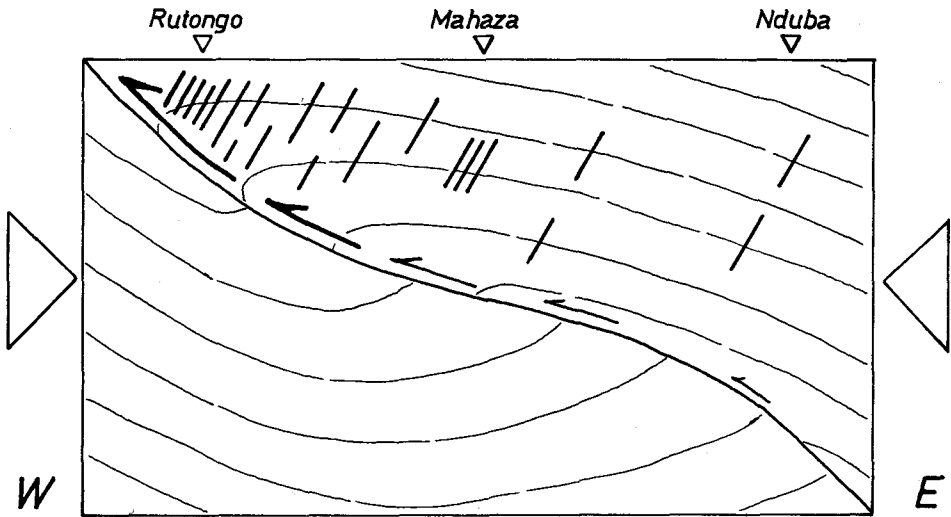


Abb. 3: Schema der Gangspaltenbildung am Ostflügel der Antiklinale von Rutongo

Die Abbildung 4 zeigt den Aufschluß der ostlichsten, obersten Aufschebung im Zanzari-Tal in gering schematisierter Darstellung. Es liegt hier eine flach nach Süden abtauchende Antiklinale von wenigen Zehner Metern Amplitude vor, deren Liegendschenkel durchgeschert wurde; die Falte ist wohl als Schleppung an der Storung aufzufassen. Die Verstellung durch Aufschebung beträgt nach Serienprofilen des Distriktes (POHL 1974) vermutlich mehrere Hundert Meter, und entspricht damit in der Großenordnung der angenommenen Dehnung des Ostflügels.

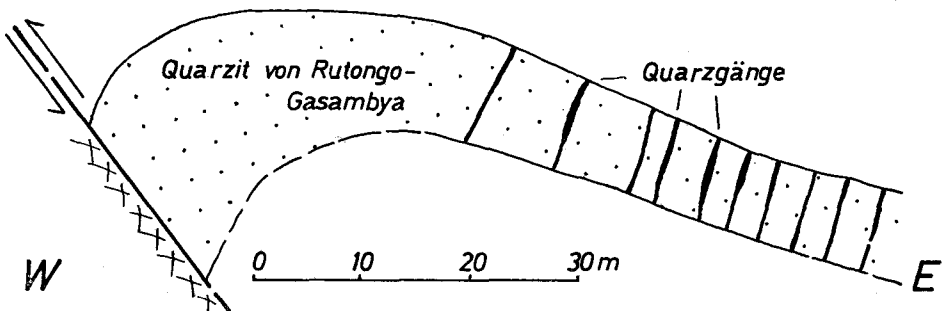


Abb. 4: Schleppfalte im Quarzit von Rutongo-Gasambya über Aufschebung und Gänge des Bergbaues von Gasambya-Süd im oberen Zanzari-Tal

Die Gleichzeitigkeit von Aufschiebung und Gangbildung wird hier durch die Beschränkung der Gänge auf den Hangendschenkel der kleinen Falte über der Aufschiebung belegt; wäre die Aufschiebung älter als die Gänge, so müßten diese auch den Scheitel der Antiklinale, die Störungszone und die Liegend-scholle erfassen. Die Beschränkung auf die Hangendscholle ist nur durch einen zeitlichen und kausalen Zusammenhang zwischen Dehnung und Aufschiebung zu verstehen. Die dritte Denkmöglichkeit, daß die Gänge vor der Aufschiebung entstanden wären, ist durch die gesicherte Beobachtung auszuschließen, daß die Gänge seit ihrer Bildung außer lokaler kataklastischer Beanspruchung keine wesentliche Deformation oder Rotation erlitten haben. In der Abbildung 4 wird das dadurch belegt, daß im Scheitel der kleinen Falte keine Gänge auftreten.

Die Deutung der Gänge von Rutongo als Bildungen durch Boudinage (ADERCA 1957) ist also insofern zutreffend, als definitionsgemäß Boudinage einer Zerrung kompetenter Gesteinslagen vornehmlich in späteren Einengungsstadien kongruenter Falten entspricht (SCHMIDT-THOMÉ 1972: 197). Trotz des bedeutenden Ausmaßes dieser Dehnung des Ostflügels der Antiklinale von Rutongo erscheint uns aber die Benennung vom Wort her nicht ganz zutreffend, da Boudinage eigentlich die Bildung von „boudins“, also länglichen, abgerundeten Körpern bedeutet. Die Zertrennung der kompetenten Gesteinsbänke in Rutongo ist aber nicht bis zu diesem typischen Stadium der Boudinage vorgeschritten.

Die bisherigen Ausführungen haben vor allem für die Lagerstättenzonen 1—3 Gültigkeit. Die Zone 4 (Nduba, Gasura etc.) zeigt eine gering abweichende Orientierung der Gänge (sh. Tafel I), die hier durchschnittlich mit  $60^\circ$  nach  $250^\circ$  einfallen. Es handelt sich vermutlich um eine lokale Störung des Deformationsplanes durch den Dom von Nyabugogo, wodurch die Richtung des tektonischen Transportes und damit der Dehnungsklüfte gering verschwenkt ist.

Die bauwürdigen Gänge von Gisanze (Zone 5) hingegen haben eine von allen anderen völlig abweichende Orientierung: Sie streichen E/W und fallen mit  $70\text{—}80^\circ$  nach Süden ein. Sie liegen einem flach nach Norden abtauchenden Sattel, und weisen sich als ac-Klüfte dieser Falte aus. Im Distrikt von Rutongo sind sonst nirgends Dehnungen in ac verwirklicht, offensichtlich infolge der N/S-orientierten sekundären Einspannung (Stauchung) des Ostflügels und des Scheitelbereiches der Antiklinale. Auch in Gisanze beträgt die Gesamtdehnung in b durch die ac-Spalten nur etwa 10 m, und ist damit ebenso um eine Zehnerpotenz geringer wie die Lagerstätten an sich im Vergleich zu den bedeutenderen des Ostflügels (sh. Tafel II).

Wie ein Studium der tektonischen Karte erkennen läßt (Tafel II), ist das Verschneiden von Zerrungszonen mit mächtigeren kompetenten Gesteinslagen nicht der einzige Parameter für das Auftreten von Gangfeldern und Lagerstätten. So liegen zumindest die größeren Lagerstätten fast ausschließlich in Sätteln; diese können eng gefalteten Antiklinalen angehören, wie in Rutongo, Gasambya und Gisanze, aber auch nur breiten Aufwölbungen mit flachen Schenkeln wie in Mahaza oder Karambo-Murambi.

Für die Suche nach bisher unbekanntem, primären Lagerstätten ergeben sich somit folgende Kriterien:

1. Die Zonenlage. Größere, neue Lagerstätten können am ehesten in jenen Zonen erwartet werden, wo bedeutende Dehnungen belegt oder wahrscheinlich sind.
2. Die Verschneidung der Dehnungszonen mit kompetenten Gesteinslagen. Nur wo mächtigere, massige Quarzite von den Dehnungen betroffen sind, kann eine wirtschaftlichen Ansprüchen genügende Gangdichte erwartet werden.
3. Die Lage in tektonischen Anti- oder Synformen. In Analogie zur Position der bekannten Lagerstätten sind Aufwölbungen als höffiger zu betrachten, als Einmuldungen.

Unserer Überzeugung nach wird eine Anwendung dieser Kriterien auf die zukünftige Lagerstättenuche im Distrikt von Rutongo sowohl durch eine Reduktion der zu untersuchenden Flächen die Kosten senken, wie auch die Erfolgchancen erhöhen.

### 5. Literaturhinweis

- ADERCA, B.: Un cas de "boudinage" à grande échelle: La mine de Rutongo au Ruanda. *Ann. Soc. Géol. de Belg.* **80**, B 279—285, Brüssel 1957.
- BERTROSSA, A., GERARDS J. & V. PETRICEC: Géologie de la region de Kigali. *Bull. Serv. Géol. Rwand.* **1**, 3—12, Ruhengeri 1964.
- CAHEN, L. & J. LEPERSONNE: The Precambrian of the Congo, Rwanda und Burundi. 143—290, 26 Fig., 21 Taf. in: *The Precambrian*. Ed. K. Rankama. J. Wiley, New York 1967.
- FRISCH, W.: Die Zinn-Wolfram-Provinz in Rwanda (Zentralafrika) aus montangeologischer Sicht. *Erzmet.* **24**, 593—600, Stuttgart 1971.
- GERARDS, J. & D. LEDENT: Grands Traits de la Géologie du Rwanda, Différents Types des Roches Granitiques et Premières Données sur les Ages de ces Roches. *Ann. Soc. Géol. de Belg.* **93**, 477—489, Brüssel 1970.
- GERARDS, J. & J. LEPERSONNE: La Stratigraphie du Burundien dans le Nord-Est du Rwanda et les régions avoisinantes. *Bull. Serv. Géol. Rwand.* **1**, 13—34, Ruhengeri 1964.
- LHOEST, A.: Les différents types de filons de la Concession Somuki à Rutongo (Ruanda). *Ann. Soc. Belg. Géol.* **80**, B 503—530, Brüssel 1957.
- LHOEST, A.: Note préliminaire sur la géologie de la région Kigali-Rutongo dans le Ruanda. *Bull. Soc. Belg. Géol.* **66**, 190—198, Brüssel 1958.
- LHOEST, A.: Quelques observations morphologiques sur le Ruanda. *Ann. Soc. Géol.* **82**, B 307—314, Brüssel 1959.
- LHOEST, A.: A propos des couches de Miovi (Ruanda), assise supérieure de l'Urundi. *Ann. Soc. Géol. Belg.* **84**, 617—628, Brüssel 1961.
- POHL, W.: Mission Géologique Rutongo — Rapport Préliminaire. Unveröffentl. Ber. Serv. Géol. Rwand., 1—15, 11 Tafeln, Kigali 1974.
- RAGUIN, E.: *Geology of Granite*. Interscience Publishers, London 1965.
- SCHMIDT-THOMÉ, P.: Tektonik. Bd. 2 in: *Lehrbuch der Allgemeinen Geologie*, von R. BRINKMANN. Enke Verlag, Stuttgart 1972.
- SCHNEIDERHÖHN, H.: *Erzlagerstätten — Kurzvorlesungen*. 3. Aufl., Fischer Verlag, Stuttgart 1955.
- SCHRÖCKE, H.: Zur Geochemie erzgebirgischer Zinnlagerstätten. *Neues Jb. Min., Abh.* **87**, 416—456, Stuttgart 1955.
- VARLAMOFF, N.: Les gisements de tungstène au Congo et au Ruanda-Urundi. *Acad. roy. Sci. Col.* **8**, 1—70, Brüssel 1958.
- VARLAMOFF, N.: Central and West African Rare-Metal Granitic Pegmatites, Related Aplites, Quarz Veins and Mineral Deposits. *Mineral. Deposita* **7**, 202—216, Berlin 1972.
- WINKLER, H. G. F.: *Die Genese der metamorphen Gesteine*. Springer Verlag, Heidelberg 1965.

Tektonische Karte

LEGENDE

Quarzite, Sandsteine

Schiefer

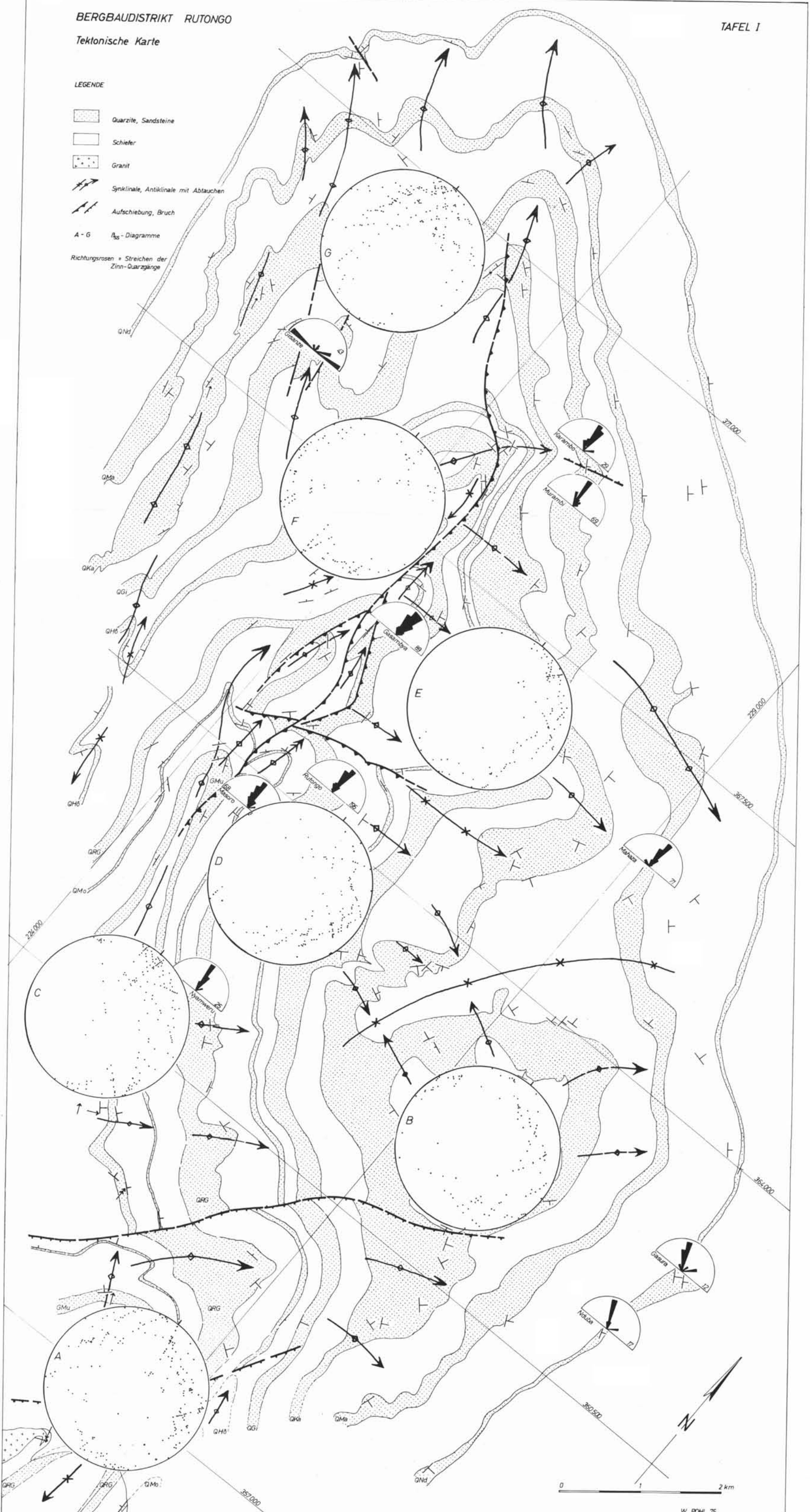
Granit

Synklinale, Antiklinale mit Abtauchen





Aufschubung, Bruch

A - G  $\beta_{35}$ -Diagramme

Richtungsrosen = Streichen der Zinn-Quarzgänge



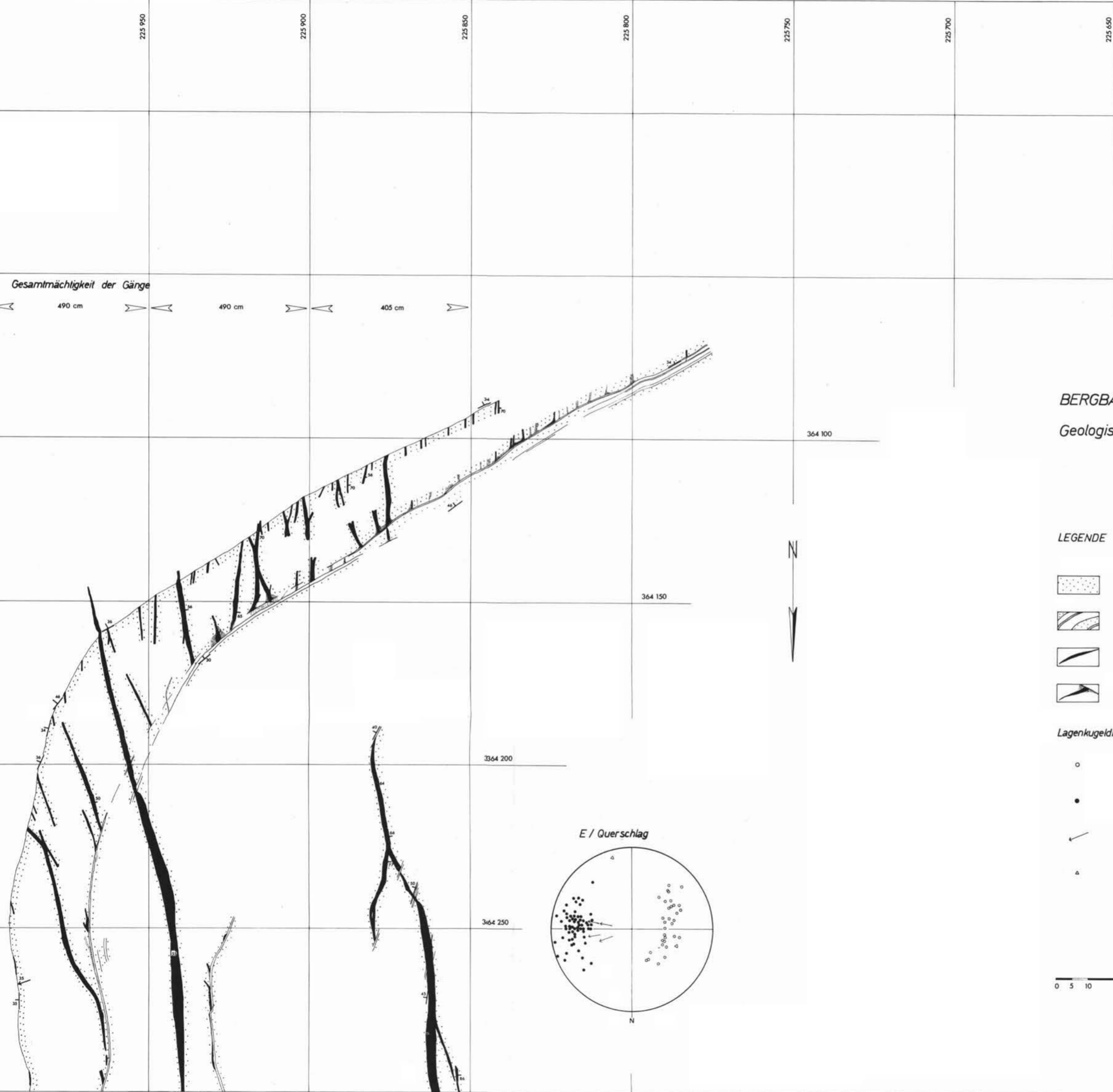
Gesamtkassiteritproduktion der Einzellagerstätten  
von 1930 - 1974 (in Tonnen Konzentrat)

- ABBAUE
-  Alluvionen
  -  Eluvionen
  -  Gänge
  -  Vorkommen







TAFEL III

364 000  
364 050







BERGBAU RUTONGO - SOHLE 4  
Geologische Karte

LEGENDE

-  Quarzit
-  Wechselagerung von Quarzit, Sandstein und Tonschiefer
-  Quarzgang ± Muskovit, Kassiterit
-  Serizitisierung, Turmalinisierung im Gangnebengestein

Lagenkugeldiagramme:

-  ss-Flächen
-  Gänge
-  Lineationen, Kleinfältelung
-  Störungen



BERGBAU RUTONGO - SOHLE 4  
Geologische Karte

Legende auf Tafel III

