

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen =
Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 66 (1986)

Heft: 3

Artikel: Geochronologie am Südrand des Damara-Orogens, S.W.A./ Namibia :
hydrothermale Beeinflussungen von Isotopensystemen und Abkühlalter
in präkambrischen Basementgesteinen

Autor: Seifert, Nikolaus

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-50902>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Geochronologie am Südrand des Damara-Orogens, S. W. A. / Namibia: Hydrothermale Beeinflussungen von Isotopensystemen und Abkühlalter in präkambrischen Basementgesteinen

von *Nikolaus Seifert*¹

Abstract

A geochronological study using the K–Ar, Rb–Sr and fission track methods has been carried out on different basement intrusive rocks in the area between the Great Gamsberg and Göllschau Farm at the southern margin of the Damara Orogen, Southwest Africa / Namibia. The Gamsberg granite, Weener tonalite, Göllschau granite-gneiss, the granites from the borehole Natas 2 and some aplitic dikes define unreliable Rb–Sr whole-rock «isochrons». Four 40 kg samples from the Gamsberg granite provide a possible Rb–Sr reference line with an age of 1190 ± 23 Ma and an initial Sr ratio of 0.7026 ± 0.0012 . The aplitic samples give a reference line of 926 ± 21 Ma with a high initial strontium ratio of 0.7215 ± 0.0054 . The Rb–Sr whole rock systems of the other basement rocks are disturbed. Geochemical evidence indicates the possible magmatic differentiation of the Göllschau granite-gneiss from the Gamsberg granite. In contrast, the Weener tonalite developed separately, appearing to be part of an older magmatic cycle. K–Ar and Rb–Sr determinations on different mineral phases yield ages between 350 and 560 Ma. The Rb–Sr biotite systems generally exhibit stronger rejuvenation than the K–Ar biotite systems. With rejuvenation of the biotites, an increase in common-Sr is seen in the Rb–Sr systems, whilst an increase in atmospheric argon is seen in the K–Ar systems. In the foliated Gamsberg granites, the biotites show in part an increased $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$ ratio, signified by a change in colour from green to brown. The white mica isotopic systems seem more resistant to rejuvenation. It appears probable that the southern margin of the Damara Orogen was strongly affected by hydrothermal fluids in the time interval between ca. 495 and ≤ 360 Ma. Two preliminary zircon fission track ages of 359 and 372 Ma offer some support to such a post-Damara event.

Keywords: Basement, precambrian, geochronology, cooling ages, Namibia.

Zusammenfassung

Im Bereich zwischen dem Grossen Gamsberg und der Farm Göllschau am unmittelbaren Südrand des Damara-Orogens S. W. A. / Namibia wurden an verschiedenen Grundgebirgsintrusiva K–Ar-, Rb–Sr- und Spaltspurdaterungen durchgeführt. Für den Gamsberg-Granit, den Weener-

¹ Mineralogisch-petrographisches Institut der Universität Bern, Abt. für Isotopengeologie, Erlachstr. 9a, 3012 Bern.

Tonalit, die Göllschau-Granitgneise, die Granite der Bohrung Natas 2 und einige Aplite ergeben die Rb-Sr-Gesamtgesteinsaltersbestimmungen nur unzuverlässige «Isochronen» im Sr-Entwicklungsdiagramm. Unter Berücksichtigung von vier Grossproben von über 40 kg Gewicht ergibt sich für den Gamsberg-Granit eine mögliche Referenzgerade mit einem Alter von 1190 ± 23 Ma bei einem initialen Sr-Verhältnis von 0.7026 ± 0.0012 , die Aplite definieren eine Gerade von 926 ± 21 Ma bei einem hohen Sr-Initial von 0.7215 ± 0.0054 . Die Rb-Sr-Gesamtgesteinssysteme der anderen Basement-Gesteine sind gestört. Es gibt geochemische Evidenzen für eine mögliche Differentiation der Göllschau-Granitgneise aus dem Gamsberg-Granit. Dagegen scheint der Weener-Tonalit eine eigene Entwicklung durchlaufen zu haben und ist wahrscheinlich wesentlich älter als die Granite. Die K-Ar- und Rb-Sr-Altersbestimmungen an verschiedenen isolierten Mineralphasen liefern in engen Bereichen Alter zwischen 350 und 560 Ma. Für die Biotite ist das System Rb-Sr generell stärker verjüngt als das System K-Ar. Die Verjüngung der Biotite für Rb-Sr geht einher mit einer Zunahme des Gehaltes an gewöhnlichem Sr, für K-Ar wird analog dazu mit abnehmendem Alter eine stark zunehmende Luftargon-Komponente registriert. In Bereichen des foliierten Gamsberg-Granits konnte in Biotiten partiell ein erhöhtes $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ -Verhältnis nachgewiesen werden, was mit einer Farbänderung der Glimmer von grün nach braun verbunden ist. Die Hellglimmer scheinen gegen eine Verjüngung resistent zu sein. Es wird angenommen, dass wahrscheinlich mehrere Ereignisse mit starkem Durchsatz hydrothormaler Lösungen das Grundgebirge am Damara-Südrand im Zeitraum zwischen etwa 495 und ca. ≤ 360 Ma beeinflusst haben. Zwei vorläufige Zirkon-Spaltspuralter mit 359 und 372 Ma deuten ebenfalls auf ein Post-Damara-Ereignis hin.

1. Einleitung

Diese Arbeit wurde im Rahmen eines DFG-Forschungsprojektes begonnen und sollte zur Klärung des Metamorphoseverlaufs im Damara-Orogen sowie der zeitlichen Beziehung zwischen Regionalmetamorphose und der Überschiebungs- und Deckentektonik am südlichen Orogenrand beitragen.

Dazu wurde ein kleiner Bereich im Basement am Damara-Südrand ausgewählt und mit verschiedenen geochronologischen Methoden bearbeitet.

Aufgrund beschränkter finanzieller Mittel war eine Reise nach Namibia zwecks Probennahme nur einmal möglich. Die Proben für die geplanten Datierungen konnten daher nicht durch Voranalysen ausgewählt werden. Der «Dialog mit dem Gelände» musste sich während der Auswertung der Proben notgedrungen auf Literaturangaben beschränken. Dieser Mangel wird deutlich in den verschiedenen Interpretationsmöglichkeiten der Rb-Sr Gesamtgesteinsreferenzgeraden mit den z. T. extrem kleinen Spreads im $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis der Proben.

2. Geologische Übersicht

Das Damara-Orogen als Teil des Pan-African-Mobile-Belt-Systems prägt im wesentlichen die Geologie Namibias. Das Orogen besteht zum einen aus einem etwa 150 km breiten N-S streichenden Küstenarm im Norden, dem Kaoko-Belt

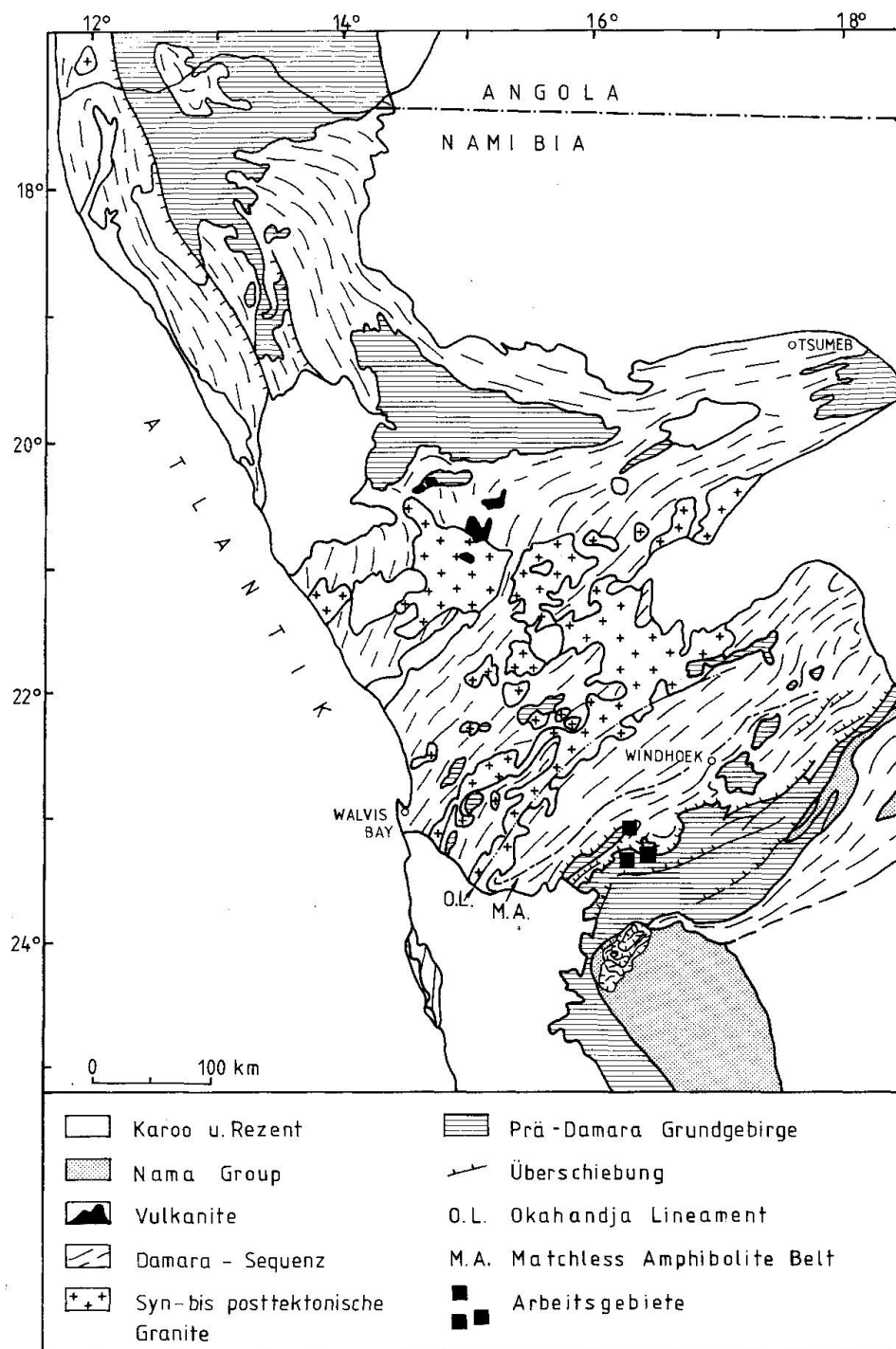


Abb. 1 Vereinfachte geologische Übersichtskarte des Damara-Orogens in Südwestafrika/Namibia (nach KRÖNER 1982) mit Lage der Arbeitsgebiete.

(HOFFMANN 1983), zum anderen aus einem ca. 400 km breiten intrakontinentalen Ast mit Streichrichtung SW-NE (Abb. 1). Für letzteren folgt eine kurze Beschreibung der stratigraphischen und metamorphen Entwicklung.

Der intrakontinentale Damara-Arm entwickelte sich nach einem initialen

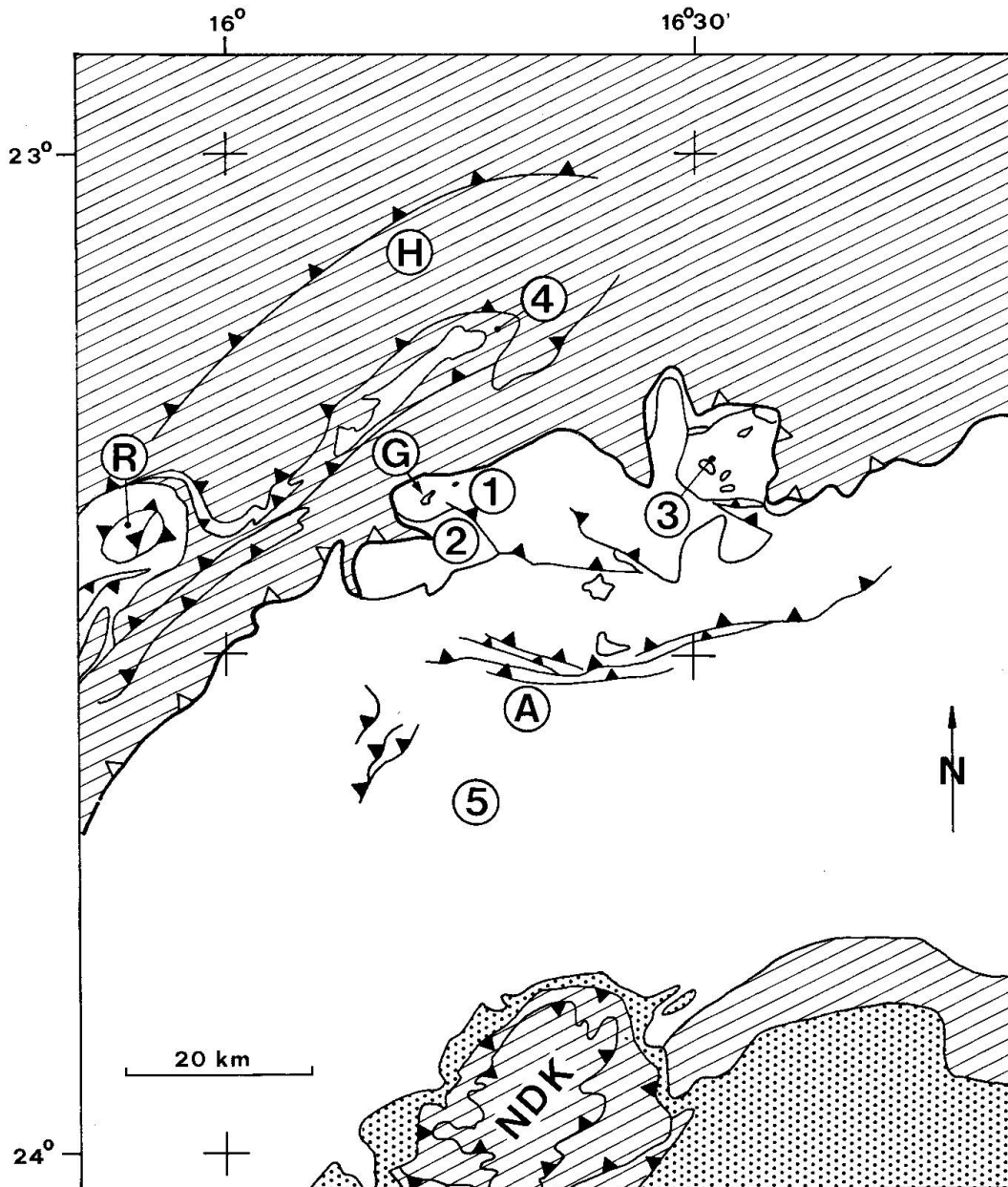
Riftstadium in ein weites geosynklinales Becken, in das die mächtigen Sedimentfolgen der Damara-Sequenz geschüttet wurden (Nosib-, Swakop-, Otavi-, Mulden-Group, South African Committee for Stratigraphy, 1980, MARTIN 1983, MILLER 1983). Die Otavi-Group-Sedimente des nördlichen miogeosynklinealen Bereichs sind Äquivalente zu den Karbonatgesteinen der Swakop-Group und werden von Molassesedimenten im klassischen Sinne überlagert (Mulden-Group, MILLER 1983). Südlich des Damara-Belt bedecken die zum Teil unmetamorphen Ablagerungen der Nama-Group die stabile Plattform. Ihre oberen Serien (Fish River-, Obere Schwarzrand-Subgroup) können teilweise ebenfalls als Molasse des Damara-Orogens interpretiert werden (GERMS 1972, 1983). Die Damara-Sequenz überlagert kontinentales Grundgebirge am südlichen Orogenrand mit Altern von ≥ 1000 Ma sowie in einigen Fenstern mit Altern von ca. 1750–2000 Ma.

Im intrakontinentalen Orogen-Ast nimmt der Metamorphosegrad von N nach S zum Zentralteil hin zu, wo die Mineralisograden zum Teil hochgradige Bedingungen mit Anatexis anzeigen (HOFFER et al. 1975). Südlich der zentralen Granitzone mit syn- bis posttektonischen Intrusionen verschiedener Zusammensetzung teilt das Okahandja-Lineament als grosse flexurartige Verbiegungszone der gesamten Damara-Sequenz den Hochdruck-Bereich des Damara-Südrandes ab (Abb. 1). Besonders am Südrand des Orogens ist eine ausgeprägte Überschiebungs- und Deckentektonik strukturbestimmend, welche auch in besonderem Masse das Grundgebirge im Untersuchungsgebiet beeinflusst hat (Abb. 1).

Zahlreiche Gesamtgesteins- und Mineralalter haben zu grossen Meinungsverschiedenheiten in der Interpretation der Daten zum Metamorphoseverlauf geführt. Es werden verschiedene Modelle mit bis zu drei getrennten metamorphen Ereignissen diskutiert: 650–620 Ma, 550–530 Ma, 460 Ma (HAACK et al. 1980, KRÖNER 1982, HARTMANN et al. 1983, AHRENDT et al. 1983, HAWKESWORTH et al. 1983). Eine Zusammenfassung der chronologischen Entwicklung des Damara-Orogens gibt MILLER (1983).

Im Gegensatz zum zentralen Orogenbereich, wo die Metamorphose temperaturbetont ablief, zeigt das südliche Damara-Orogen höhere Drücke für den Höhepunkt der Metamorphose. Im Norden der südlichen Orogenzone werden Drücke von 4 bis maximal 5 kb erreicht (HOFFER 1978), für den unmittelbaren Südrand ergeben sich Minimaldrücke von 5 kb (PUHAN und HOFFER 1973) bzw. 6 bis 7 kb (HARTMANN et al. 1983). Temperaturabschätzungen für das südliche Damara-Orogen deuten auf etwa 600°C im Bereich des Okahandja-Lineamentes und nehmen bis auf ca. 450°C im Grundgebirge am Südrand ab (Abb. 1).

Das Basement am Südrand des Damara-Orogens besteht neben Metasedimenten und Metavulkaniten der Rehoboth- und Sinclair-Sequenz aus einer grossen Anzahl verschiedener granitoider Intrusionen (DE KOCK 1934, DE WAAL 1966, HÄLBICH 1970, SCHALK 1970). Das gesamte Altersspektrum der Prä-



Legende:

- ▨ Damara-Sequenz + NDK, □ Prä-Damara Grundgebirge
 ▤ Nama Group, ▲ Damara-Südrand
 R = Rostock Komplex, H = Hakos Bergland, A = Areb Scherzone
 G = Grosser Gamsberg, NDK = Naukluft Deckenkomplex
 1 = Gamsberg Granit, 2 = Weener Tonalit, 3 = Göllschau Granit-gneis, 4 = Granit Bohrung Natas 2, 5 = Nauchas Migmatit.

Abb. 2 Übersichtskarte des Damara-Südrandes zwischen dem Hakos-Bergland und dem Naukluft-Deckenkomplex (NDK) mit Lage der Probenlokalitäten (nach Geological Map, South West Africa-Namibia, 1980).

Damara-Gesteine am südlichen Orogenrand reicht von etwa 1800 Ma bis 1000 Ma (HUGO und SCHALK 1971, MALLING 1978, WATTERS 1974, BURGER und COERTZE 1973, 1973-74, 1975-76, BURGER und WALRAVEN 1975-76).

Das Untersuchungsgebiet liegt am westlichen Rand des afrikanischen Inlandplateaus an der unmittelbaren Südgrenze des Damara-Orogens zwischen dem Grossen Gamsberg und der Farm Göllschau 20 (Abb. 1 und 2). Die bearbeiteten magmatischen Gesteine gehören zur Gamsberg-Granite Suite (SACS, South African Committee for Stratigraphy, 1980) bzw. assoziierten Serien (Abb. 2). Folgende lithologische Einheiten wurden beprobt (Abb. 3, SEIFERT 1986):

1. Gamsberg-Granit «sensu stricto» (Farmen Piccadilly 221, Gamsberg 23, Weener 193).
2. Weener-Tonalit (Farm Weener 193).
3. Aplite (Gamsberg-Weener-Gebiet).
4. Göllschau-Granitgneise (Farm Göllschau 20).
5. Granit Bohrung Natas 2 (Natas Mine).

3. Die bearbeiteten Gesteine

Von den im folgenden vorgestellten Gesteinsserien wurden Proben für die radiometrischen Altersbestimmungen gesammelt. Zusätzlich konnte ein Biotitkonzentrat aus einem migmatitischen Gneis von der Farm Nauchas 14 (ca. 40 km SSE des Grossen Gamsberges, Abb. 2) verarbeitet werden, welches freundlicherweise von Dr. H. Ahrendt und Dr. J.C. Hunziker zur Verfügung gestellt wurde.

3.1. DER GAMSBERG-GRANIT

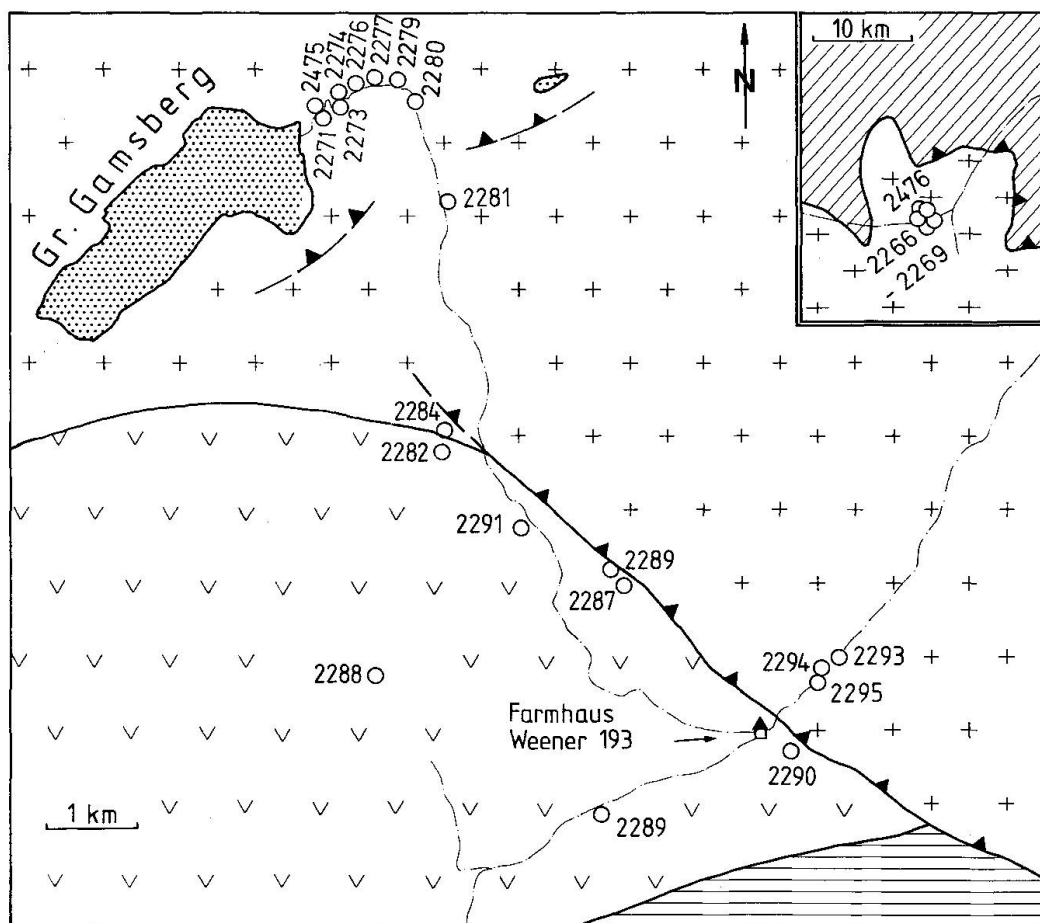
Der Gamsberg-Granit ist nach DE WAAL (1966) Teil eines grossräumig verbreiteten Intrusivkomplexes, der Nauchas-Granit Suite, bzw. der Gamsberg-Granite Suite nach SACS (1980). Neben dem grössten zusammenhängenden Körper Gamsberg-Granit zwischen Piccadilly 221 und Göllschau 20 gibt es im Bereich Damara Südrand/Nordrand-Naukluft-Deckenkomplex eine Reihe kleinerer Granitintrusionen, die als Gamsberg-Granit kartiert wurden (DE WAAL 1966, SCHALK 1970). Nach N überlagern den Granitkomplex im Bereich des Grossen Gamsberges Gesteine der Damara-Sequenz, nach S schliessen sich der Weener-Tonalit auf Farm Corona 223 und Weener 193 an, sowie die Metasedimente der Gaub-Valley-Formation auf den Farmen Weener 193, Mount Barry 225, Hornkranz 21 und Isabis 19 (DE WAAL 1966). Der Gamsberg-Granit intrudiert nach DE WAAL (1966) den Weener-Tonalit.

Der Grosse und Kleine Gamsberg bestehen aus foliiertem Gamsberg-Granit

und tragen eine diskordant auflagernde, ca. 30 m mächtige Quarzitplatte (Gamsberg-Quarzit, MARTIN 1982, WITTIG 1976). Der Quarzit wird mit dem Etjo-Sandstein der Karoo-Sequenz korreliert.

Die gesammelten Proben von Gamsberg-Granit stammen vom NE-Hang des Grossen Gamsberges und vom Weg NE des Farmhauses Weener 193 und sind in beiden Bereichen verschieden stark deformiert. Es lassen sich makroskopisch zwei Profile unterscheiden (Abb. 3):

1. Massiger Granit: Profil NE des Farmhauses Weener 193. Die Proben KAW 2293, 2294, 2295 liegen im Gelände ca. 250 m auseinander, Höhe ü. M. ca. 1800 m.



- 2291 Probenfundpunkt u. KAW-Nr., ▲ — Überschiebung
 + + Gamsberg-Granit, v v Weener-Tonalit, — Strasse, Pad
 + + Göllschau-Granitgneis, — Gaub Valley-Formation,
 // Damara Sequenz, . . . Gamsberg-Quarzit

Abb. 3 Probenkarte des Gebietes Gamsberg-Farm Weener 193-Farm Göllschau 20.

2. Deformierter Granit: Das Profil am Gamsberg-E-Hang in unmittelbarer Nähe des Damara-Südrandes mit den Proben KAW 2271, 2475, 2273, 2274, 2276, 2277, 2279, 2280 ist gekennzeichnet durch eine intensive Deformation. Die Proben wurden entlang des Zufahrtsweges zum Gipfelplateau genommen, sie liegen bei einer Höhenlage zwischen 1950 m und 2200 m ü. M. maximal 1 km auseinander.

3.2. APLITE

Von dieser Gesteinsvarietät konnten nur drei grössere Proben (15–25 kg) aus verschiedenen Gängen gesammelt werden. KAW 2281 (Mächtigkeit ca. 1 m) stammt vom SE-Hang des Grossen Gamsberges und ist im Haupt-S des Gamsberg-Granits eingeschichtet, KAW 2284, 2286 sind aus dem Kontaktbereich zwischen Gamsberg-Granit und Weener-Tonalit (Abb. 3). Alle Proben sind unterschiedlich von der Deformation am Damara-Südrand erfasst worden. Am Gamsberg kommen noch weitere aplitische Einschaltungen im cm- bis dm-Bereich vor, bei denen eine Probennahme aufgrund der tiefgründigen Verwitterung unmöglich war.

3.3. GÖLLSCHAU-GRANITGNEISE

Proben von der Farm Göllschau 20 wurden als Göllschau-Granitgneise bezeichnet. Es handelt sich vermutlich um den von DE WAAL (1966) beschriebenen Übergang vom Gamsberg-Granit zum stärker deformierten Hornkranz-Augengneis. Die Proben KAW 2266, 2267, 2268, 2269, 2476 stammen aus einem Umkreis von ca. 300 m von Aufschlüssen beiderseits der Strasse Windhoek–Walvis Bay 1.8 km NW der Abzweigung nach Rehoboth (Abb. 2, Abb. 3).

3.4. GRANIT DER BOHRUNG NATAS 2

Einige Proben granitischer Gesteine aus der Bohrung Natas 2 (Natas-Mine, Farm Natas 220) wurden freundlicherweise von K.H. Hoffmann, Geological Survey Windhoek, zur Verfügung gestellt. Die Basement-Granite gehören zum Rostock-Deckenkomplex, welcher noch innerhalb des südlichen Damara-Orogens liegt (HOFFMANN 1983). Möglicherweise sind diese Gesteine auch ein Teil der Gamsberg-Granit Suite (Abb. 1). Die fünf Gesamtgesteinsproben stammen aus verschiedenen Tiefen (siehe unten) der Bohrung (Abb. 2). Es handelt sich um längshalbierte Kerne von 6 cm Durchmesser, von denen ca. 2 bis 2.5 m jeweils zu einer Totalprobe zusammengefasst wurden.

NAB 2-1	KAW 2445	75.82- 77.84 m
NAB 2-3	KAW 2446	92.07- 94.00 m
NAB 2-5	KAW 2447	116.56-119.00 m
NAB 2-7	KAW 2448	140.93-143.67 m
NAB 2-9	KAW 2449	147.37-149.48 m

3.5. DER WEENER-TONALIT

Der Weener-Tonalit ist ein sehr inhomogener Komplex mit grossen Variationen in der Zusammensetzung. Der grösste Intrusivkörper kommt auf den Farmen Corona 223 und Weener 193 vor (Abb. 2). Im W wird er von Damara-Sedimenten überlagert, nach E schliesst der Gamsberg-Granit an. Am Abstieg in das Flusstal des Gaub nach S liegt der Kontakt zu den Gaub-Valley-Formation-Metasedimenten (DE WAAL 1966). Der Weener-Tonalit wird vom Gamsberg-Granit intrudiert, der Kontakt zwischen beiden Gesteinsserien wird später zum Teil intensiv tektonisiert.

Die bearbeiteten Proben stammen nur aus dem östlichen Abschnitt des Weener-Tonalits von der Farm Weener 193 aus dem Bereich des Kontakts mit dem Gamsberg-Granit KAW 2282, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291 (Abb. 3).

4. Tektonik

Das Gebiet Gamsberg-Weener-Göllschau ist gekennzeichnet von einer z.T. intensiven Schertektonik senkrecht zum Orogenstreichen. Die Deformation wird einer polyphasen Prägung während der Damara-Orogenese zugeschrieben, wobei in tieferen Stockwerksbereichen Faltung des Grundgebirges auftritt (SEIFERT 1986). Für den Gamsberg-Granit kann wegen des Vorhandenseins grosser Überschiebungsflächen parallel zum Haupt-S (NE-SW) die Existenz von Basement-Decken nicht ausgeschlossen werden. Im Bereich des Granits am Grossen und Kleinen Gamsberg sind zahlreiche teils mineralisierte, teils mit brekziiertem Granitmaterial gefüllte Kluft- und Spaltensysteme bis in tiefe Zonen unterhalb der sedimentären Überdeckung (Gamsberg-Quarzit, MARTIN 1982) vorhanden (SEIFERT 1986). WITTIG (1976) hat ähnliche Spalten beschrieben und deren Anlage mit karoozeitlichen Erdbeben in Verbindung gebracht.

5. Petrographie

5.1. DER GAMSBERG-GRANIT

Der Gamsberg-Granit von der Typlokalität Grosser Gamsberg ist als mittel- bis grobkörniger, stark foliierter Granitgneis zu beschreiben. Die Hauptfolia-

tion fällt mit ca. 60° nach NNW ein. In einer feinen Matrix sind bis zu 1 cm grosse augenförmige Feldspatporphyroklasten sowie Glimmerscheite im Haupt-S angeordnet. Das Quarz-Gefüge ist überwiegend grobkörnig rekristallisiert und deutet auf eine statische Temperung nach der Damara-Deformation hin. Kalifeldspäte sind Orthoklas mit häufigem Zonarbau und Mikroklin. Perthitische Entmischungen und Myrmekite sind verbreitet. Plagioklas hat meist Oligoklaszusammensetzung, Serizitisierung sowie Füllung mit feinkörnigem Epidot ist oft weit fortgeschritten. Generell sind feine Albitpflaster charakteristisch. Biotit kommt in zwei Generationen vor. Der ältere Biotit I mit bis zu 1.5 mm Durchmesser wird als magmatisches Relikt gedeutet. Daneben sprosst ein jüngerer metamorpher Biotit II syn- bis posttektonisch. Untergeordnet kommt in diskreten Scherzonen im Granit in unterschiedlichem Masse eine sekundäre Umbildung der grünen Biotite in eine gelblich-braune Variante vor. Hellglimmer liegen als syndeformativ gesprossene polygonale Scheite in der Hauptschieferung, ihre Zusammensetzung ist phengitisch. Der Hellglimmergehalt nimmt in den Scherzonen im Granit, die einen hohen Anteil an braunem Biotit aufweisen, im Haupt-S stark zu.

Der Granit am Farmhaus Weener ist makroskopisch sehr massig, die Feldspäte und Glimmer zeichnen jedoch auch ein metamorphes S nach. Das Quarzgefüge ist hier nicht so durchgreifend rekristallisiert wie am Grossen Gamsberg.

5.2. APLITE

Die Aplite sind feinkörnig mit teils porphyrischem Gefüge. Feldspäte sind als kleine bis 4 mm grosse hypidiomorphe Einsprenglinge von Orthoklas und Plagioklas vorhanden. Albitisierung und Serizitisierung sind sehr verbreitet. Bei stärkerer Durchbewegung des Gesteins entsteht eine deutliche Paralleltex-
tur mit feinkörnig rekristallisierten Quarzlagen und eingeregelter Hellglim-
mern und Biotiten.

5.3. GÖLLSCHAU-GRANITGNEISE

Die Gesteine sind mittel- bis feinkörnige Gneise mit pegmatitischen Einschaltungen. Quarz ist rekristallisiert und kommt in groben Kornaggregaten und fein in der Matrix vor. Die enormen Korngrößen des Quarzpflasters lassen auf höhere Temperaturen während der posttektonischen Temperung als im Granit am Gamsberg schliessen. Kalifeldspat und Plagioklas bilden hypidiomorphe Porphyroklasten. Biotit ist rötlich-braun bis schmutzig-grün und liegt oft in Nestern im Haupt-S des Gesteins. Hellglimmer sind eingeregeltere polygonale Scheite mit leichter Eigenfarbe.

5.4. GRANIT BOHRUNG NATAS 2

Die Gesteine sind teils fein-, teils grobkörnig und meist streng geschiefert (vgl. Gamsberg-Granit). Kalifeldspat und Plagioklas kommen als getrübte Porphyroklasten und feine Matrixkörner vor. Quarz ist überwiegend rekristallisiert und von unterschiedlicher Korngrösse. Biotit tritt mengenmässig stark zurück und wird durch intensiv grünen Chlorit ersetzt.

5.5. WEENER-TONALIT

Die Gesteine sind mittel- bis feinkörnig und teils stark deformiert. Das Gefüge ist hypidiomorph granular und besteht hauptsächlich aus Plagioklas, Quarz, Biotit, Amphibol und etwas Chlorit. Quarz bildet ein polygonales Gefüge mit groben und feinkörnigen Partien, Biotit ist dunkelgrün, manchmal auch gelb-braun, und im Lagenbau geregelt, z.T. chloritisiert. Hellglimmer ist nicht in allen Proben vertreten, sonst im S gesprosst und vereinzelt mit Biotit verwachsen. Epidot kommt häufig recht grobkörnig vor, aktinolithische Amphibole sind dagegen nur in wenigen Proben vorhanden und werden häufig zu Biotit abgebaut.

6. Geochemie

Chemische Analysen wurden von fast allen Proben gemacht, die für Datierungen verwendet wurden. Die Bestimmung der Haupt- und Spurenelemente erfolgte auf einer automatischen Röntgenfluoreszenzanlage.

Zur Klassifikation der Gesteine eignet sich am besten das Diagramm R2-R1 nach DE LA ROCHE et al. (1980) (siehe Abb. 4). Hier gehen alle wichtigen Oxide in die Berechnung ein, so dass sich die grosse Variation der Alkalien z.B. durch die oft durchgreifende Albitisierung der Feldspäte kaum bemerkbar macht. Die Gamsberg-Granite und die Proben der Bohrung Natas 2 belegen das Granitfeld, die Göllschau-Granitgneise und die Aplite liegen an der Grenze Granit-Alkaligranit. Die Weener-Tonalite fallen hauptsächlich ins Granodioritfeld, zwei Proben zeichnen im Tonalit- bzw. Quarzdioritbereich.

Im AFM-Diagramm werden $A = Na_2O + K_2O$, $Fe = \text{total Fe als FeO}$, $M = MgO$ in Beziehung zueinander gesetzt. Alle bearbeiteten granitoiden Gesteine belegen einen kalkalkalischen Entwicklungstrend (Abb. 5).

Eine genetische Einordnung der magmatischen Gesteine wäre wünschenswert. Im Diagramm nach CHAPPELL und WHITE (1974) kommen die Gamsberg-Granite, Weener-Tonalite und die Göllschau-Granitgneise deutlich im I-Typ-Feld zu liegen, zwei der Aplitproben fallen ins S-Typ-Feld (Abb. 6). Diese An-

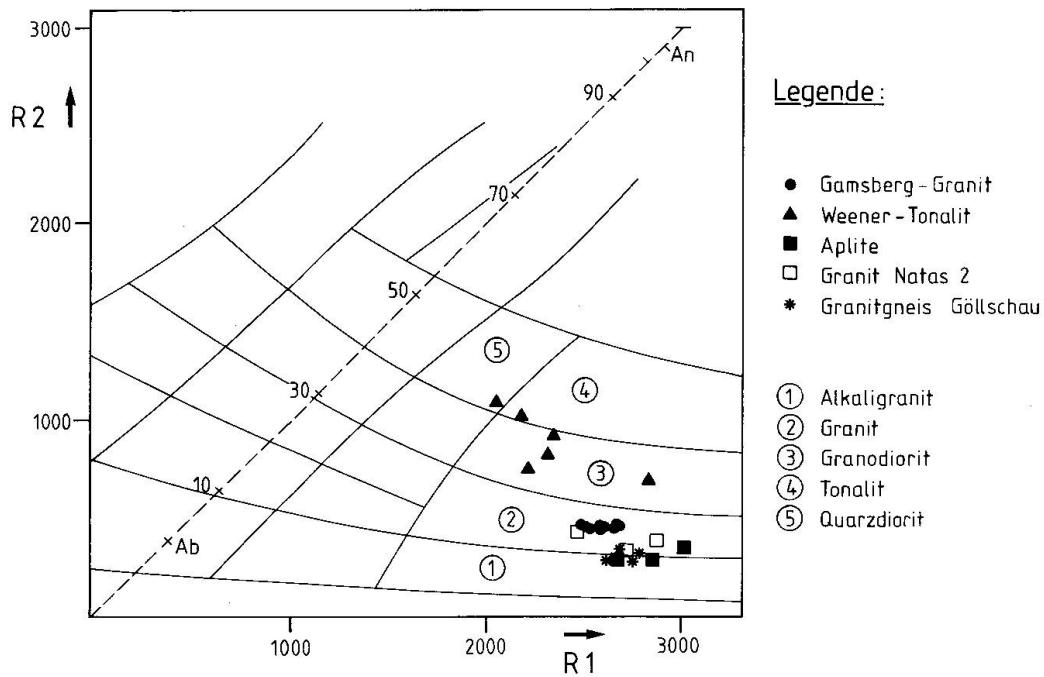


Abb. 4 Das Diagramm nach DE LA ROCHE et al. (1980), modifiziert nach STRECKEISEN (1981).
 $R1 = 4Si - 2(Fe + Ti) - 11(Na + K)$, $R2 = Al + 2Mg + 6Ca$.

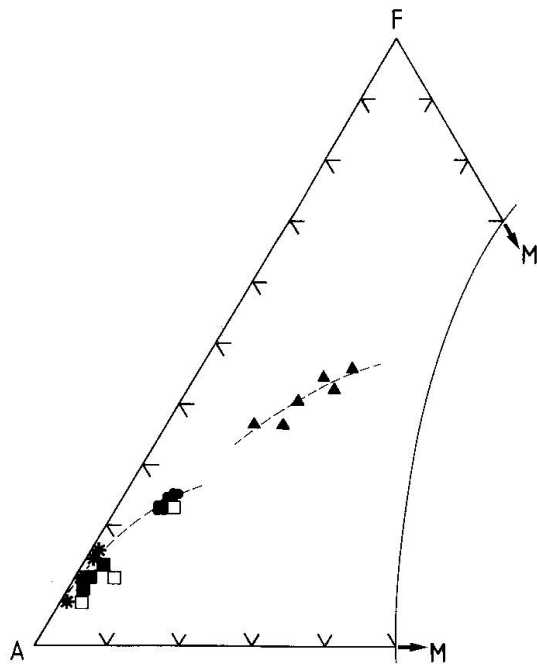


Abb. 5 Die Gesteine im AFM-Diagramm (Signaturen s. Abb. 4).

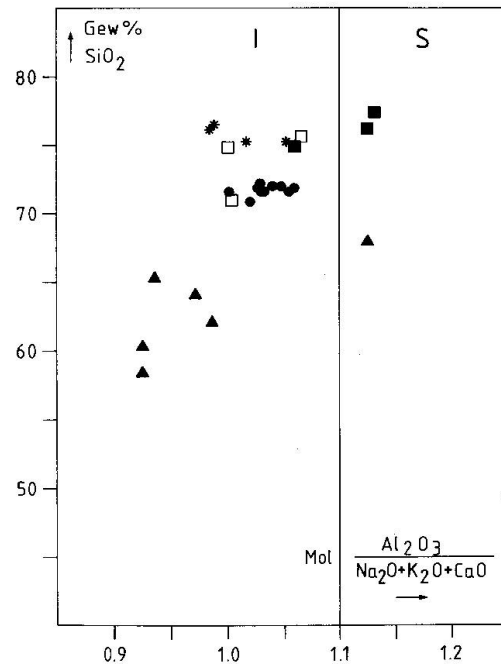


Abb. 6 Das Diagramm nach CHAPPELL und WHITE (1974) (Signaturen s. Abb. 4).

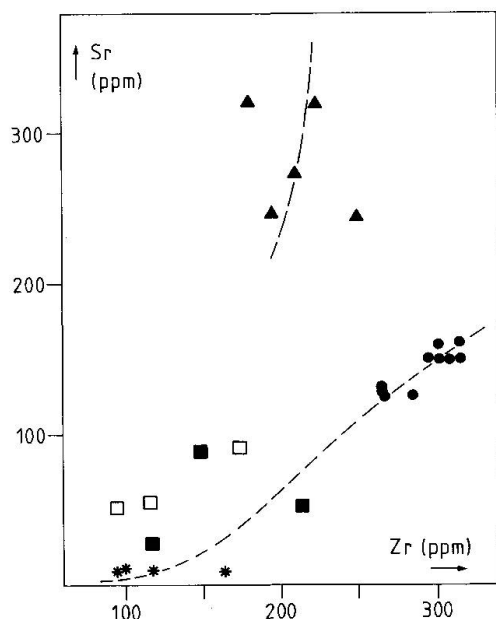


Abb. 7 Das Diagramm Sr-Zr (Signaturen s. Abb. 4).

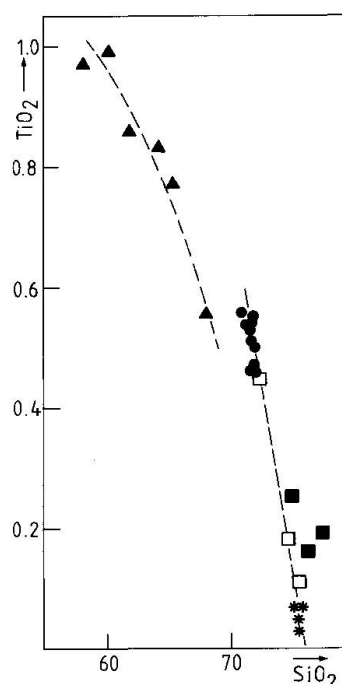


Abb. 8 Das Diagramm TiO₂-SiO₂ (Signaturen s. Abb. 4).

ordnungen werden zum Teil durch die Sr-Initiale der Referenzgeraden bestätigt.

Die Hauptelemente zeigen im wesentlichen noch ungestörte Trends, lediglich die Alkalien variieren stark.

Es gibt Anzeichen dafür, dass der Weener-Tonalit eine eigenständige Entwicklung durchlaufen hat und nicht in eine Differentiationsabfolge mit dem Gamsberg-Granit gehört. Die sehr immobil Elemente Ti und Zr lassen in den beiden folgenden Diagrammen verschiedene Entwicklungstrends als möglich erscheinen (Abb. 7 und 8). Der Weener-Tonalit sondert sich klar ab, niedrigere Zr-Gehalte als der Gamsberg-Granit machen eine Differentiationsabfolge unmöglich. Eine Differentiation vom Gamsberg-Granit zu den Rb-reichen Göllschau-Granitgneisen erscheint dagegen als sehr wahrscheinlich.

7. Geochronologie

7.1. METHODIK

Die meisten der verarbeiteten Proben des Gebiets Grosser Gamsberg-Farm Weener 193 sowie des Profils Göllschau hatten ein Gewicht zwischen 15 und 42 kg. In einigen Fällen mussten notgedrungen auch Proben von 6 bis 10 kg aufbereitet werden.

Aus Proben der verschiedenen lithologischen Einheiten wurden vor allem Glimmer (Biotite und Hellglimmer) sowie andere Mineralphasen wie Kalifeldspat, Plagioklas, Apatit und Zirkon separiert.

Die gereinigten Proben wurden im Backenbrecher zerkleinert, anschliessend in einer Scheibenmühle gemahlen und danach in verschiedene Kornfraktionen gesiebt. Aus der Fraktion < 90 mesh wurden auf einem Wilfley-Schütteltisch Schwerminerale (Apatit, Zirkon) angereichert. Sämtliche Minerale und ihre Kornfraktionen wurden mit verschiedenen Methoden (Magnetscheider, Schütteltisch, -rinne, Auftriebrohr, Schwerflüssigkeiten) auf eine möglichst hohe Reinheit (bei Glimmern $> 99.9\%$, siehe SEIFERT 1986) angereichert. Von einzelnen Proben wurden Glimmerkonzentrate aus verschiedenen Ausgangskorngrössen (Siebkorngrösse nach Backenbrecher und Scheibenmühle) analysiert (Tabelle 3).

Für die Rb-Sr-Gesamtgesteinsproben wurde ein Aliquot des zerkleinerten Probenmaterials während ca. 14 Stunden unter Äthanol abs. (p.A.) analysenfein gemahlen.

Vor der weiteren chemischen Bearbeitung wurden von allen Proben Röntgenfluoreszenz-Voranalysen bezüglich Rb und Sr gemacht. Die Rb- und Sr-Gehalte wurden nach der Isotopenverdünnungsmethode bestimmt, genauere Angaben siehe JÄGER (1979). Die Rb-Sr-Messungen wurden auf einem AVCO-Festkörpermassenspektrometer mit Dreibandionenquelle durchgeführt. Die Messdaten wurden «on line» mit einem PDP-11-Computer gespeichert und ausgewertet. Die Programme schrieb Dr. R. Siegenthaler.

Alle Rb-Sr-Gesamtgesteinsreferenzgeraden wurden mit dem Isochronenprogramm nach YORK (1969, Teil 1) bei gleicher Gewichtung aller Proben gerechnet. Der Fehler im $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis liegt bei $\pm 1\%$ (1 Sigma), für die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse siehe Tabelle 1 (± 1 Sigma).

Für den Zeitraum der Analysen wurden vom Standard NBS 987 insgesamt 22 Messungen durchgeführt. Der Zentralwert der ermittelten $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse liegt bei 0.710285 ± 80 (± 1 Sigma), alle anderen Werte liegen innerhalb dieses Fehlers (siehe SEIFERT 1986).

Die Argonbestimmungen wurden auf einem Massenspektrometer VG MM 1200 durchgeführt und erfolgten wiederum nach der Methode der Isotopenverdünnung. Als Spike wurde auf 99.9997% angereichertes ^{38}Ar verwendet (SCHUMACHER 1975).

Die Empfindlichkeit des Massenspektrometers beträgt $3 \cdot 10^{-4}$ Amp/Torr, die Abundance Sensitivity ist < 40 ppm ^{40}Ar auf Masse 39 bei $1 \cdot 10^{-6}$ Torr (FLISCH 1986).

Die Extraktionsline wurde von FLISCH (1982, 1986) konzipiert und gebaut. Der Line-Blank liegt zwischen 3 und $7 \cdot 10^{-9}$ ccm STP $^{40}\text{Ar}/\text{g}$. Massendiskriminierung, Luftkorrektur und Blankkorrektur werden von einem PDP-11-System rechnerisch durchgeführt. Das $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ -Luftverhältnis wird am KAW-Labor

mit 302.6 ± 0.3 (1 Sigma) für ^{40}Ar -Mengen von $> 2.1 \cdot 10^{-6}$ ccm STP gemessen, sowie mit 303.3 ± 0.5 (1 Sigma) für ^{40}Ar -Mengen von $< 2.1 \cdot 10^{-6}$ ccm STP (FLISCH 1986). Der Fehler für Argonbestimmungen beträgt $\pm 1\%$ (1 Sigma). Die Probenresultate wurden ständig gegen verschiedene Standards (B4M, B4B, LP-6, GL-0) sowie Luft- und Luft+Spoke-Messungen geeicht.

Die Kalium-Bestimmung erfolgte auf einem Beckmann- und einem Ingold-Flammenphotometer. Bei Glimmern liegt die Reproduzierbarkeit innerhalb von $\pm 1\%$. Die Kontrolle wurde durch Messung von Biotitstandards (B4B, LP-6) und einzelne Doppelbestimmungen sichergestellt (FLISCH 1986).

Für die Rb-Sr- und K-Ar-Altersberechnungen wurden die IUGS-Konstanten nach STEIGER und JÄGER (1977) verwendet.

Zwei vorläufige Spaltspur-Alter an Zirkonen aus dem Gebiet Grosser Gamsberg-Farm Weener 193 wurden von Dr. A.J. Hurford bestimmt, wobei die Extern-detektormethode angewandt wurde. Die Berechnung des Alters erfolgte über die individuelle Zeta-Kalibrierung. Zur Methodik und Probenaufbereitung siehe HURFORD et al. (1982, 1983).

7.2. Rb/Sr-GESAMTGESTEINSANALYSEN

7.2.1. Gamsberg-Granit

Referenzgerade A: Versucht man mit allen elf Analysenpunkten des Gamsberg-Granits eine Isochrone zu rechnen, so werden vier Proben nicht berücksichtigt. Ihr Abstand von der gerechneten Geraden ist zu gross. Diese Proben sind KAW 2271, 2475, 2274, 2277 (Abb. 9, Kreise).

Die verbliebenen sieben Daten ergeben eine Referenzgerade A mit einem Alter von 1229 ± 29 Ma und einem $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Initial von 0.7007 ± 0.0014 (Abb. 9, Punkte).

Die Proben KAW 2271, 2475, 2274 enthalten zum Teil viel gelblich-braunen Biotit, der stark verjüngte Rb-Sr- und K-Ar-Alter zeigt. KAW 2277 ist noch stärker deformiert und enthält gehäuft retrograde Mineralumbildungen. Mit zunehmendem Zerschierungsgrad steigt ebenfalls der Hellglimmergehalt an, alle vier Proben haben zudem nur ca. 6–10 kg Gewicht.

Das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Initial der Referenzgeraden A ist ausgesprochen niedrig und liegt bei dem Alter von 1229 Ma noch unterhalb der Sr-Entwicklungslinie für einen an Rb verarmten Mantel (FAURE 1977, S. 113). Man muss in diesem Fall annehmen, dass die Referenzgerade aufgestellt wurde (vgl. Referenzgerade B).

Referenzgerade B: Zur Berechnung der Referenzgeraden B wurden Grossproben verwendet, um mineralogische Inhomogenitäten im Kleinbereich weitgehend auszuschalten (Abb. 10). KAW 2273, 2280, 2294 sind Proben von über 40 kg Gewicht. Diese drei Punkte beschreiben eine Gerade, auf der ebenfalls

Tab. 1 Rb-Sr-Gesamtgesteinsanalysen.

KAW- Nr.	Gestein	^{87}Rb (ppm)	Sr total (ppm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (± 1 Sigma)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$
2281	Aplite	59.830	51.807	0.875365 \pm 55	11.998620
2284		73.700	26.541	1.114015 \pm 72	29.513477
2286		5.981	88.648	0.733654 \pm 57	0.691415
2293	Gamsberg-	49.691	129.660	0.770950 \pm 84	3.941771
2294	Granit	50.001	128.658	0.770987 \pm 55	3.997278
2295		51.188	124.789	0.774515 \pm 58	4.220471
2271		42.115	149.589	0.749576 \pm 60	2.889703
2475		44.636	155.679	0.751121 \pm 48	2.943354
2273		43.893	161.825	0.750410 \pm 48	2.784228
2274		44.962	148.878	0.753606 \pm 41	3.101033
2276		42.614	158.656	0.749025 \pm 74	2.756702
2277		43.988	124.850	0.757812 \pm 43	3.619226
2279		45.947	150.462	0.755251 \pm 46	3.136101
2280		45.444	150.295	0.755170 \pm 61	3.105159
2282	Weener-	27.226	273.406	0.727762 \pm 85	1.019921
2287	Tonalit	30.448	319.098	0.723074 \pm 79	0.976854
2288		24.593	245.120	0.729274 \pm 60	1.027771
2289		22.072	337.905	0.718556 \pm 50	0.668411
2290		25.139	243.178	0.729032 \pm 95	1.058944
2291		25.113	321.093	0.723110 \pm 53	0.800680
2266	Granitgneis	103.043	9.715	2.60212 \pm 33	128.518120
2267	Göllschau	134.417	10.597	2.93129 \pm 32	157.872063
2268		97.099	8.563	2.77868 \pm 39	139.391716
2269		122.081	10.070	2.75537 \pm 20	148.746143
2476		210.731	13.305	3.36598 \pm 17	204.013892
2445	Granit	56.574	49.850	0.865885 \pm 42	11.780600
2446	Bohrung	65.413	117.261	0.824902 \pm 56	5.767701
2447	Natas	61.312	54.090	0.876020 \pm 74	11.777835
2448		50.333	57.709	0.819116 \pm 51	9.012762
2449		52.141	90.131	0.788788 \pm 53	5.960388

KAW 2295 zu liegen kommt. Die Referenzgerade durch diese vier Punkte definiert ein Alter von 1190 ± 23 Ma bei einem Sr-Initial von 0.7026 ± 0.0012 (Abb. 10, Punkte).

Für den Bereich des deformierten Gamsberg-Granits am Gamsberg-E-Hang liegen alle anderen Analysenpunkte unterhalb der berechneten Geraden von 1190 Ma, ihr Probengewicht variiert zwischen 18 kg (KAW 2274) und 6 kg (KAW 2277, Abb. 10, Kreise). Inhomogene Mineralverteilung und zu kleine Probengrösse werden als Grund für die Abweichung angesehen.

Es kann nicht entschieden werden, ob auch diese Referenzgerade aufgestellt wurde. Einen Mechanismus für das Aufsteilen einer Isochrone durch ^{87}Sr -rad-Verlust und/oder Sr-common-Zufuhr geben BIELSKI et al. (1979).

7.2.2. Aplite

Die Analysenpunkte der drei verschiedenen Proben liegen auf einer gut definierten Referenzgeraden, welche bei einem Sr-Initial von 0.7215 ± 0.0054 ein Alter von 926 ± 21 Ma ergibt (Abb. 11, Tab. 1). Die Gerade ist bei dem ausgesprochen grossen Spread im $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis zwischen 0.69 und 29.5 gut korreliert.

Die Probe KAW 2286 ist auf der Rb-Sr-Referenzgeraden wegen ihres hohen Sr-Gehaltes sehr unempfindlich gegen eine Störung. Die beiden anderen Proben KAW 2281 und 2284 dagegen würden wegen der niedrigen Sr-Werte und hohen Rb-Gehalte viel eher auf eine Beeinflussung reagieren. Nimmt man eine Störung des Rb-Sr-Totalsystems an, so hätte sie zumindest die Proben KAW 2281 und 2284 gleichmässig erfasst. Das hohe Initial der Referenzgeraden und der geringe Glimmergehalt der Gesteine deuten jedoch eher auf ein Bildungsalter hin, als auf das Alter einer Verjüngung.

7.2.3. Weener-Tonalit

Das $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis der Tonalite liegt zwischen 0.65 und 1.05 (Tab. 1). Es ergeben sich zwei mögliche Referenzgeraden (Abb. 12, Abb. 13):

Referenzgerade A: Fünf der sechs Gesamtgesteinsproben definieren im Nicolaysen-Diagramm eine Gerade mit einem Alter von 1871 ± 143 Ma bei einem initialen Sr-Verhältnis von 0.7009 ± 0.0019 (Abb. 12, gefüllte Dreiecke), KAW 2287 wird vom Programm nicht berücksichtigt (Abb. 12). Das Sr-Initial ist sehr tief und liegt bei dem errechneten Alter im Diagramm der Entwicklung für terrestrisches Sr gerade oberhalb der Verbindungslinie BABI- $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.702 für einen an Rb verarmten Mantel (FAURE 1977, S. 113).

Referenzgerade B: Hier wurden nur die drei grössten Proben von über 23 kg

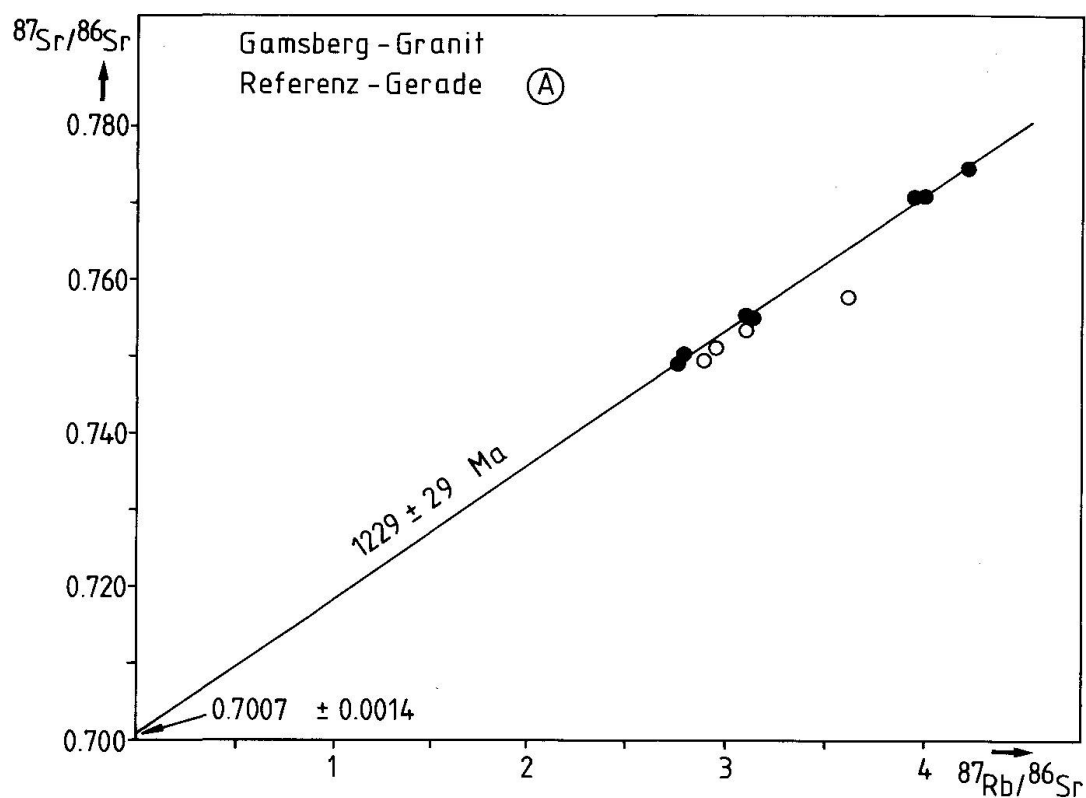


Abb. 9 Gamsberg-Granit: Rb-Sr-Gesamtgesteins-Referenzgerade A (Signaturen s. Text).

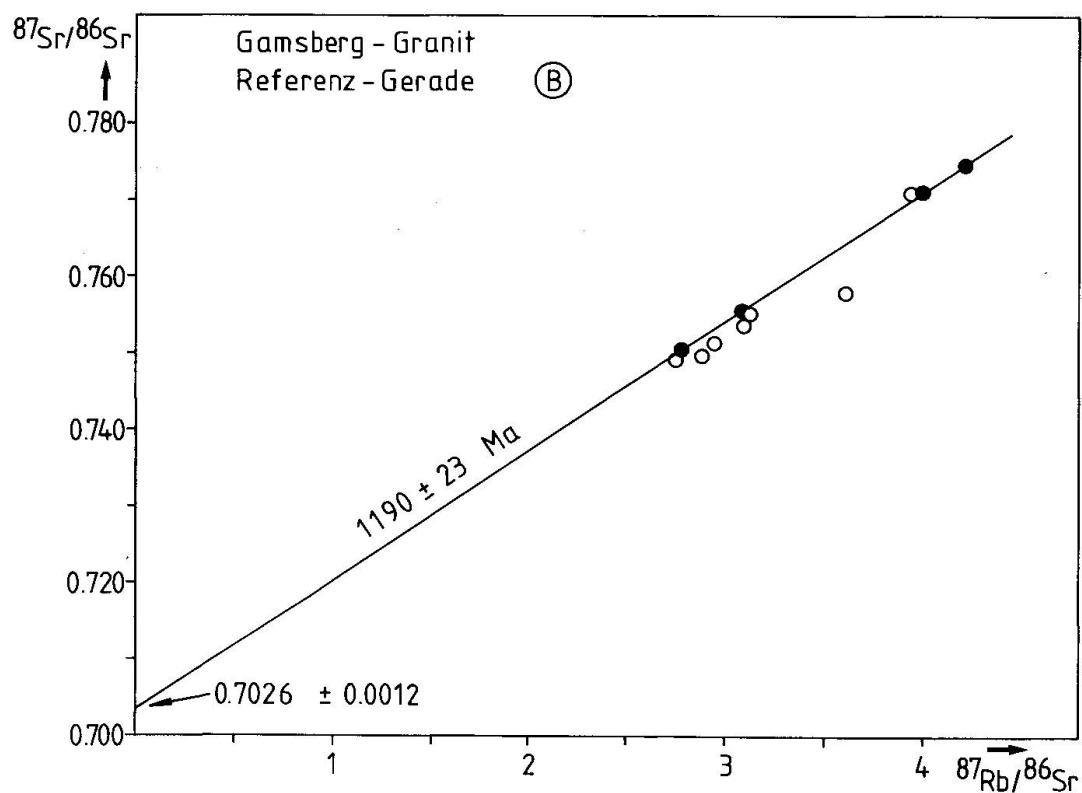


Abb. 10 Gamsberg-Granit: Rb-Sr-Gesamtgesteins-Referenzgerade B (Signaturen s. Text).

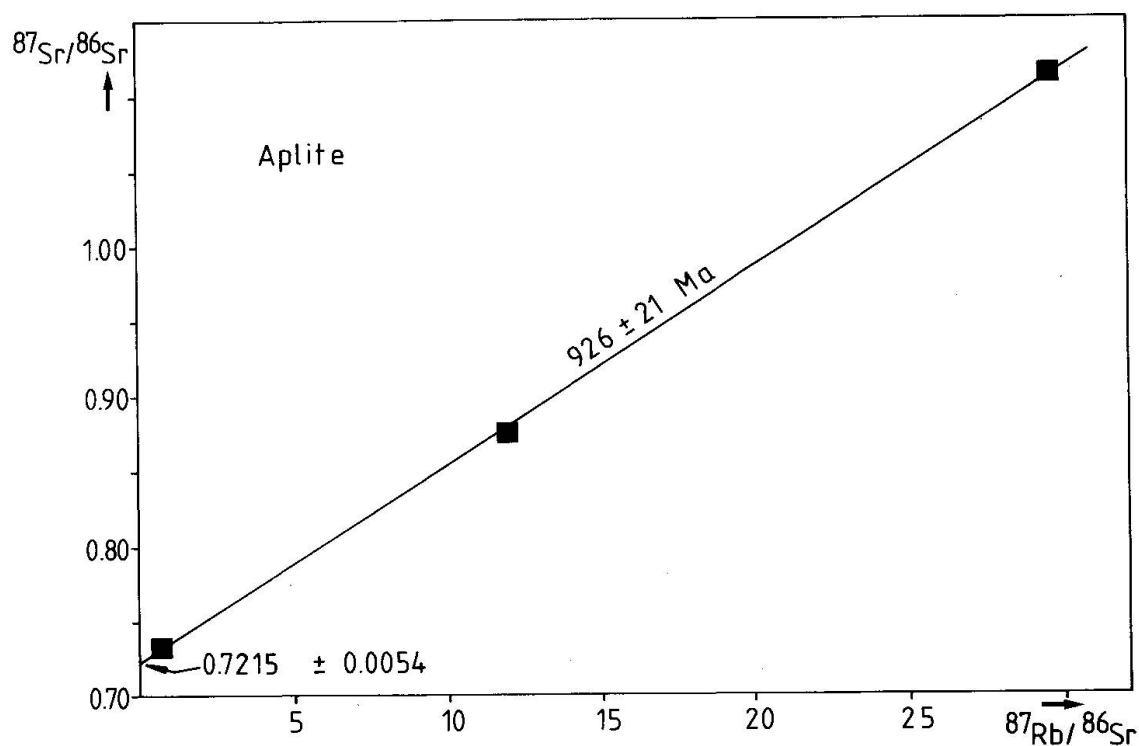


Abb. 11 Aplite: Rb-Sr-Gesamtgesteins-Referenzgerade.

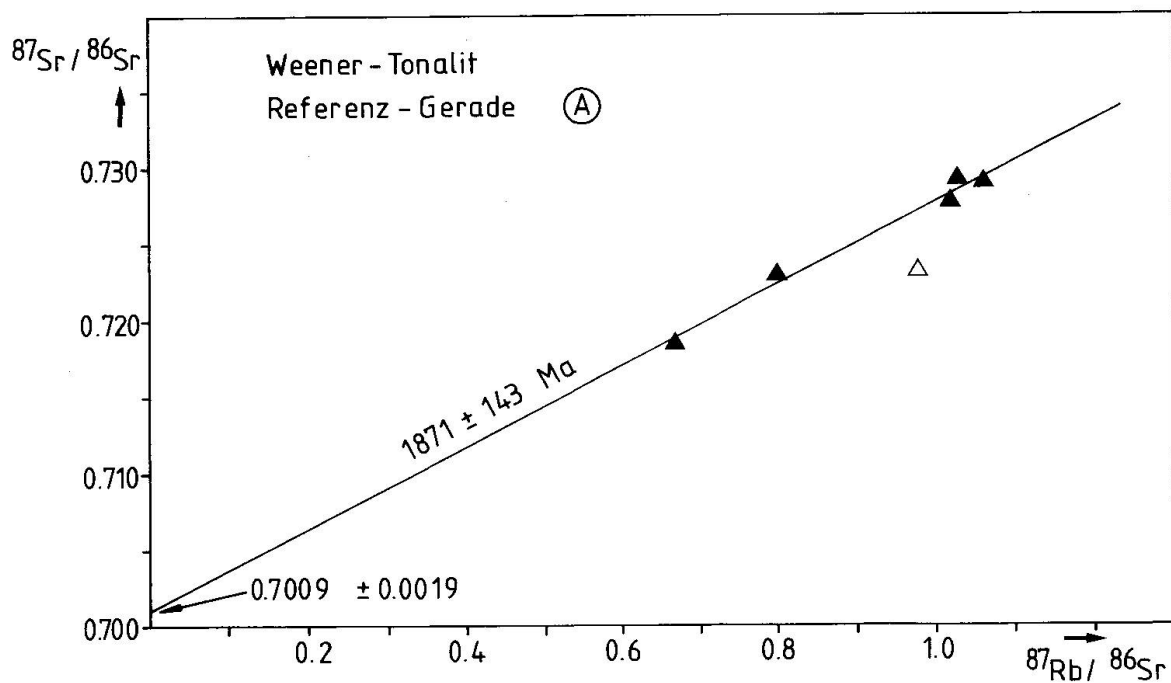


Abb. 12 Weener-Tonalit: Rb-Sr-Gesamtgesteins-Referenzgerade A (Signaturen s. Text).

berücksichtigt (KAW 2290, 2282, 2291, Abb. 13, ausgefüllte Dreiecke), um eine möglichst repräsentative Rb-Sr-Verteilung für das Gesamtgesteinssystem vor auszusetzen. Die nicht verwendeten Proben (KAW 2287, 2288, 2289, leere Dreiecke) haben ein Gewicht zwischen 15 und 19 kg. Es lässt sich eine Gerade rechnen, die bei einem $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Initial von 0.7051 ± 0.0014 ein Alter von 1560 ± 100 Ma ergibt (Abb. 13).

7.2.4. Göllschau-Granitgneise

Die Gesteinsproben haben einen verhältnismässig hohen Rb-Gehalt von 360–470 ppm, die grobe K-Feldspat-reiche Varietät KAW 2476 sogar 744 ppm, bei Sr-Gehalten von ca. 10 ppm. Nach WEDEPOHL (1969) liegen die Sr-Gehalte noch weit unter dem durchschnittlichen Wert von 55 ppm für späte Granit-Differentiate. Dies und die hohen Rb-Gehalte sind ein Hinweis auf eine Differenzierung aus einem granitischen Magma. Möglicherweise kommt der Gamsberg-Granit als Ausgangsmaterial in Betracht.

Die fünf Analysenpunkte (Abb. 14, Sterne) ergeben keine Gerade. Im Nicolaysen-Diagramm sind zusätzlich einige Mineralpunkte eingetragen (Abb. 14). Es ist auffallend, dass sich die Gesamtgesteinspunkte praktisch auf den beiden «Mineralisochronen» mit Altern von 438 und 461 Ma befinden. Dieses «Eindreihen» der Totalpunkte zeigt, dass das Gesamtgesteinssystem im Bereich Göllschau stärker überprägt wurde als am Gamsberg. Der saurere Gesamtchemismus der Gesteine mit lokalem Glimmerreichtum reagiert zudem sehr viel empfindlicher auf sekundäre Umstellungen. Als Hilfslinie wurde im Diagramm eine Gerade mit einem Alter von etwa 1000 Ma und dem Sr-Initial des Gamsberg-Granits eingezeichnet.

7.2.5. Granit Bohrung Natas 2

Unterschiedliche Mengen an sekundärem Kalzit werden bei fast konstanten Rb-Gehalten von etwa 180–230 ppm für die relativ stark schwankenden Sr-Gehalte von 50–120 ppm verantwortlich gemacht (Tabelle 1). Man kann davon ausgehen, dass das sekundäre Karbonat durch Fluide aus den überlagernden Damara-Sedimenten geliefert wurde.

Im Nicolaysen-Diagramm zeigt sich wiederum keine eindeutige Gerade (Abb. 15), das Rb-Sr-System ist gestört. Die eingezeichnete Linie geht durch einen abgeschätzten geochemischen Schwerpunkt und ein initiales Sr-Verhältnis um 0.7030 (vgl. Gamsberg-Granit).

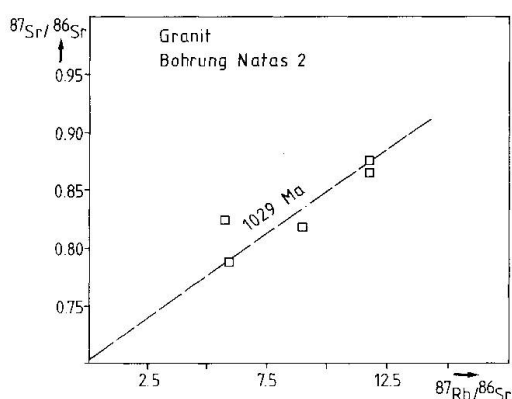
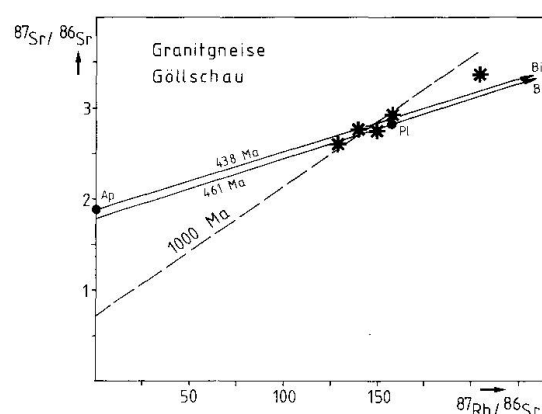
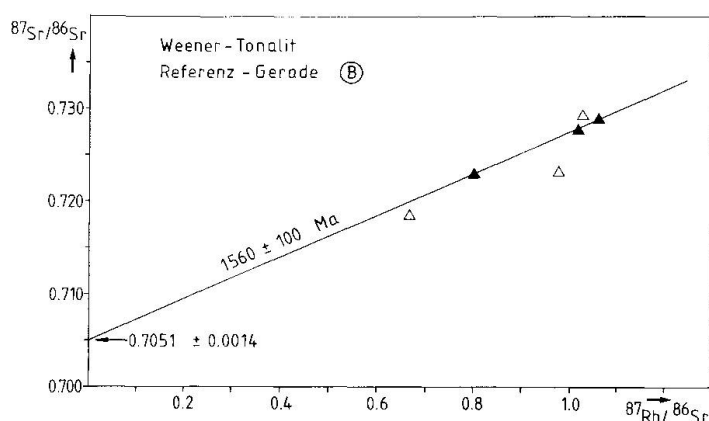


Abb. 13 Weener-Tonalit: Rb-Sr-Gesamtgesteins-Referenzgerade B (Signaturen s. Text).

Abb. 14 Gölischau-Granitgneise: Rb-Sr-Gesamtgesteinsanalysen, Sterne = Totals, Ap = Apatit, Pl = Plagioklas, Bi = Biotit.

Abb. 15 Granit Bohrung Natas 2: Rb-Sr-Gesamtgesteinsanalysen.

7.3. Rb-Sr-MINERALANALYSEN

Es wurden aus den verschiedenen Gesteinen vorwiegend Biotite und Hellglimmer analysiert (Abb. 16) sowie an geeigneten Proben andere Mineralphasen wie Apatit, Plagioklas und Kalifeldspat. Dabei sind die Feldspäte aufgrund von Entmischungen und sekundären Umwandlungen oft nicht sauber voneinander zu trennen. Die Resultate der Rb-Sr-Analysen und die Alter der mit dem Gesamtgestein korrigierten Glimmer sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Für die Rb-Sr-Glimmeralter ergibt sich ein grosser Streubereich von 350 bis 530 Ma. Die Rb-Sr-Biotitanalysen geben jedoch ohne Ausnahme niedrigere Alterswerte als die K-Ar-Resultate der gleichen Mineralkonzentrate (Tab. 2 und 3). Dabei ist der K-Ar/Rb-Sr-Altersunterschied der Biotite des deformierten Gamsberg-Granits zwischen 10–20 Ma; beim massigen Gamsberg-Granit, den Apliten, dem Weener-Tonalit, den Gölischau-Granitgneisen nimmt diese Differenz zum Teil bis auf 50 Ma zu. Die Verjüngung der Biotitproben mit hohem Anteil an braunem Biotit ergibt die niedrigsten Alter (KAW 2271 braun 350 Ma, KAW 2491 Nauchas 287 Ma mit $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.710140 korr.).

Bei den fünf analysierten Hellglimmerkonzentraten sind die Rb-Sr-Alter stark abhängig von der Glimmerkorrektur.

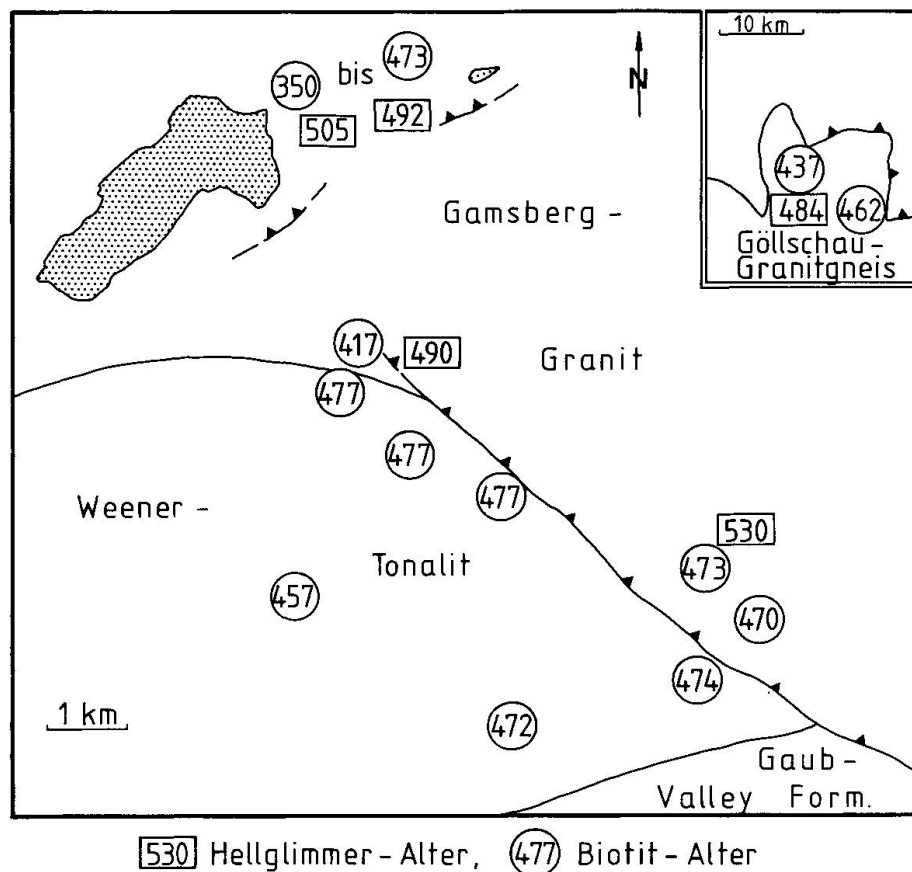


Abb. 16 Regionale Verteilung der Rb-Sr-Glimmeralter im Gebiet Grosser Gamsberg-Farm Weener-Farm Göllschau.

Für sämtliche Rb-Sr-Glimmeranalysen wurde das Alter mit dem entsprechenden Gesamtgesteinspunkt als «Zweipunktisochrone» berechnet, KAW 2491 (Nauchas) aus Ermangelung des Gesamtgesteins mit dem $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -common-Verhältnis von 0.71014.

7.3.1. Verjüngungsmechanismus der Biotite im System Rb-Sr

Nach den Gefügebeobachtungen überdauert die Metamorphose im Gamsberg-Weener-Gebiet die Deformation, die Temperung ist zuletzt statisch. Die Umbildung von grünem Biotit zu braunen Varianten mit zunehmender Durchbewegung besonders im Bereich des deformierten Gamsberg-Granits lässt auf einen späteren Durchsatz von Fluiden mit hohem Sauerstoffpartialdruck schliessen. Der zunehmende Grad der Verjüngung in relativ engen Bereichen (Gamsberg-E-Hang) hängt direkt vom Deformationsgrad der Gesteine ab. Stärker gescherte Partien ermöglichen eine erhöhte Zirkulation von fluiden Phasen. Die grössten Gehalte an braunem Biotit sind in diskreten Scherzonen

Tab. 2 Rb-Sr-Mineralanalysen.

KAW- Nr.	Mineral	Fraktion (mesh)	^{87}Rb (ppm)	Sr total (ppm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (± 1 Sigma)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	Alter (Ma) (± 1 Sigma)
Aplite							
2284	Bi	100-200	473.704	12.633	3.93468 \pm 40	504.299626	417 \pm 5 *449 \pm 5
2284	Hgl	60-100	273.038	6.012	5.74565 \pm 44	693.091896	490 \pm 5 *510 \pm 5
2284	Kf	35- 50	120.243	48.707	1.10052 \pm 11	26.205445	
Gamsberg- Granit							
2294	Bi	60-100	227.870	5.846	4.40260 \pm 32	542.487862	473 \pm 5 *478 \pm 5
2294	Bi	100-200	264.668	7.778	3.79835 \pm 52	453.004078	473 \pm 5 *478 \pm 5
2294	Hgl	50-100	149.242	12.231	1.78157 \pm 15	137.832322	530 \pm 6 *545 \pm 5
2294	Kf	35- 50	73.417	200.586	0.770221 \pm 54	3.764320	
2294	Pl	35- 50	13.819	54.404	0.761986 \pm 77	2.610379	
2295	Bi	100-200	238.910	6.809	3.90061 \pm 32	470.716494	470 \pm 5 *476 \pm 5
2271	Bi braun	60-100	228.580	8.568	2.30527 \pm 36	315.326846	350 \pm 4 *355 \pm 4
2271	Bi grün	60-100	231.183	7.821	2.83555 \pm 57	365.046616	404 \pm 4 *409 \pm 4
2271	Bi	100-200	223.789	8.209	2.58087 \pm 16	329.738242	393 \pm 4 *398 \pm 4
2273	Bi	60-100	226.563	6.474	3.68083 \pm 23	461.778297	448 \pm 5 *452 \pm 4
2273	Hgl	50-100	123.869	14.008	1.42683 \pm 13	96.749888	505 \pm 5 *520 \pm 5
2273	Kf	35- 50	42.305	185.955	0.748244 \pm 124	2.334777	
2274	Bi	60-100	226.217	9.123	2.66256 \pm 23	301.954304	448 \pm 5 *454 \pm 8
2276	Bi	60-100	221.793	8.723	2.43882 \pm 30	303.910704	394 \pm 4 *399 \pm 4
2280	Bi	50-100	238.253	10.422	2.39402 \pm 22	272.239043	428 \pm 4 *434 \pm 4
2280	Hgl	50-100	136.997	14.749	1.44792 \pm 10	101.821414	492 \pm 5 *508 \pm 5
2280	Kf	35- 50	67.773	233.518	0.755307 \pm 35	2.980557	
Weener- Tonalit							
2282	Bi	100-200	114.023	4.378	2.92358 \pm 20	323.913843	477 \pm 5 *480 \pm 5
2282	Ap	< 90	0.216	232.721	0.719031 \pm 39	0.009491	
2287	Bi	50- 90	114.410	4.555	2.82096 \pm 36	309.846357	477 \pm 5 *478 \pm 5
2288	Bi	100-200	121.046	5.933	2.28899 \pm 25	240.797553	457 \pm 5 *460 \pm 5
2288	Ap	< 90	0.164	195.333	0.715636 \pm 43	0.008574	
2289	Bi	100-200	100.779	5.457	2.16332 \pm 22	215.657906	472 \pm 5 *473 \pm 5
2290	Bi	90-180	123.194	4.246	3.21864 \pm 90	369.417022	474 \pm 5 *477 \pm 5
2291	Bi	50- 90	99.395	5.073	2.29124 \pm 15	231.299794	477 \pm 5 *480 \pm 5
Granitgneise, Gßllschau							
2266	Bi	100-200	769.062	7.544	23.5199 \pm 46	3367.460259	453 \pm 5 *475 \pm 5
2268	Bi	100-200	788.733	8.608	17.0920 \pm 29	2437.811159	437 \pm 5 *472 \pm 5
2268	Ap	< 90	0.340	115.937	1.87963 \pm 13	0.033404	
2269	Bi	100-200	709.181	6.724	27.3159 \pm 35	3884.275688	462 \pm 5 *481 \pm 5
2269	Hgl	80-180	477.294	5.113	22.0444 \pm 22	2946.076334	484 \pm 5 *508 \pm 5
2269	Pl	50 -90	83.636	6.558	2.83264 \pm 18	157.465230	
Migmatit, Nauchas- Pass							
2491	Bi	100-200	181.814	16.227	1.20037 \pm 09	120.053420	*287 \pm 3

Bi = Biotit, Hgl = Hellglimmer, Ap = Apatit, Kf = Kalifeldspat, Pl = Plagioklas

Alter: 472 \pm 5 (± 1 Sigma) mit Gesamtgesteinspunkt korr. , *508 \pm 5 (± 1 Sigma) mit $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ common 0.71014 korr. .

mit zunehmendem Hellglimmergehalt anzutreffen. Die Biotit-Probe von Nau-chas hat praktisch nur noch braunen Biotit, grüne Glimmer sind selten.

Mikrosondenanalysen an grünen und braunen Biotiten des Gamsberg-Granits zeigen eindeutig, dass für die Farbänderung nur ein erhöhtes $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ -Verhältnis in Frage kommt. Ähnliche Phänomene beschreiben BIELSKI et al. (1979) aus dem Sinai. Im Diagramm Al^{IV} -Mg/Fe liegen grüne und braune Biotite bei fast identischen Mg/Fe-Verhältnissen von 0.6–0.7 (Abb. 17). Die Titankomponente ist ebenfalls sehr konstant (Abb. 18).

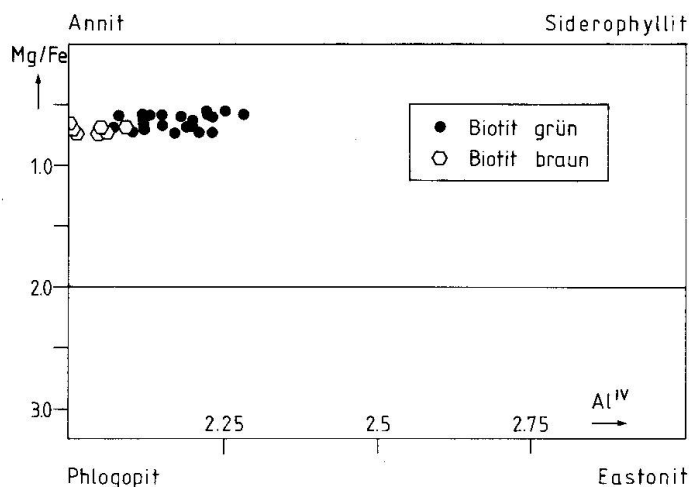


Abb. 17 Chemische Klassifikation der Biotite im Diagramm Al^{IV} -Mg/Fe.

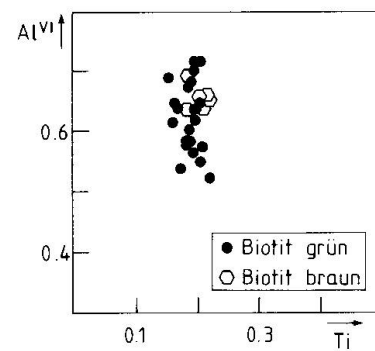


Abb. 18 Die Biotite des Gamsberg-Granits im Diagramm Al^{VI} -Ti.

Alle Biotite des Gamsberg-Granits haben bei fast konstantem ^{87}Rb -Gehalt von 230 ppm unterschiedliche Sr-common-Anteile bei stark abnehmendem ^{87}Sr -rad-Gehalt. Die gleiche Situation zeigen die Tonalitbiotite (durchschnittlich ^{87}Rb -Gehalt 113 ppm) und die Biotite von Göllschau (^{87}Rb 710 bis 780 ppm). Eine Zumischung von common-Sr bei gleichzeitiger Abfuhr von ^{87}Sr rad ist angezeigt (Abb. 19, vgl. BIELSKI et al. 1979). Dabei belegen die Biotite des deformierten Gamsberg-Granits verschiedene Entwicklungslinien. Die Hellglimmer zeigen keinen gleichmässigen Trend.

Eine nachträgliche Störung des Rb-Sr-Biotitsystems trifft speziell auf die stark verjüngten Bereiche am Gamsberg-E-Hang zu, wo die Biotite verschiedene Verjüngungstrends zeigen.

7.3.2. Mineralisochronen

Ausser den Glimmern wurden an verschiedenen Proben noch andere Mineralphasen analysiert. Es ergeben sich eine Reihe von «Mineralisochronen» zusammen mit dem Gesamtgesteins- und Biotitpunkt. Das Alter dieser Geraden

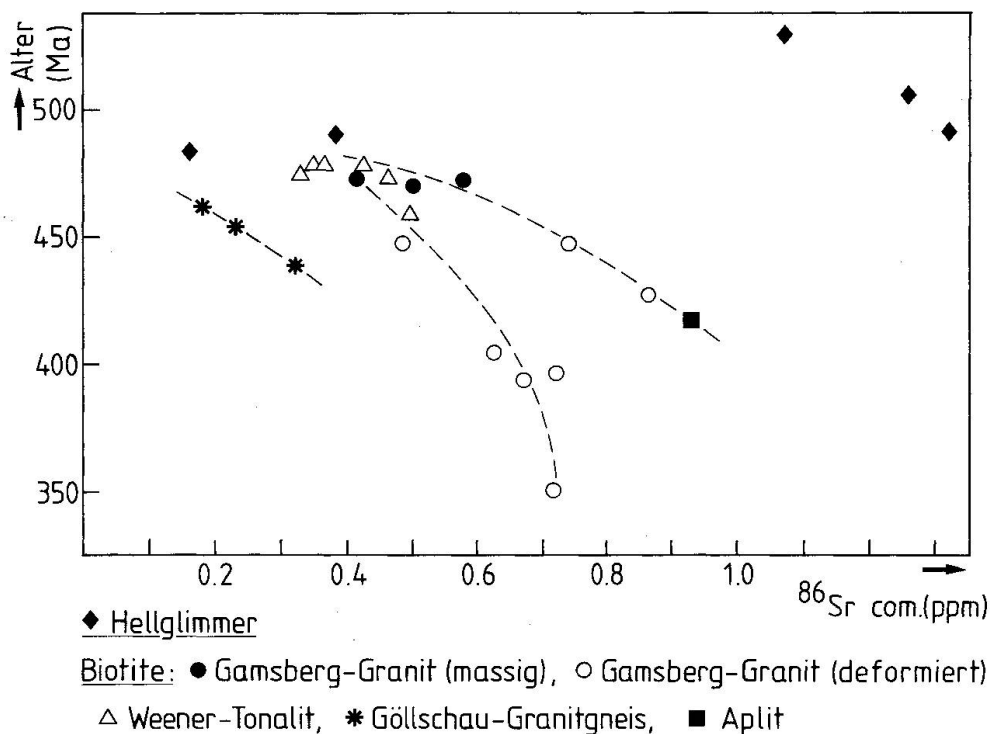


Abb. 19 ^{86}Sr -common-Gehalt der Glimmer in Abhängigkeit des Alters.

entspricht dem mit dem Gesamtgesteinspunkt korrigierten Rb-Sr-Biotitalter. Als Beispiele sind «Mineralisochronen» vom massigen Gamsberg-Granit und den Göllschau-Granitgneisen angeführt (Abb. 20, 21).

Wie im vorigen Abschnitt dargelegt, ist eine Störung des Biotitsystems durch Zufuhr von common-Sr und Verlust an ^{87}Sr rad festzustellen.

Sind Minerale wie Apatit, Plagioklas, Kalifeldspat und Biotit auf einer Isochrone angeordnet, so kann man daraus schliessen, dass sie alle bis zum Erreichen der regionalen Temperatur von 300°C offene Systeme für Rb-Sr waren (JÄGER 1979, S. 19). Biotit reagiert sehr leicht auf eine Störung des Rb-Sr-Systems; Kalifeldspat, Plagioklas und Apatit sind wegen ihres hohen Sr-Gehaltes unempfindlicher. Normalerweise wird während einer Metamorphose das aus dem Biotit entfernte radiogene Sr in die Ca-reichen Phasen wie Apatit und Plagioklas eingebaut, verlässt also das Gesamtgesteinssystem nicht (JÄGER 1979, S. 14). Ähnliches ist auch für eine Störung durch fluide Phasen anzunehmen.

Man kann im vorliegenden Fall die Rb-Sr-Alter der Mineralisochronen (und damit der Biotite) nicht als regionales Abkühlungsalter auf 300°C ansehen, da eine so stark differenzierte Abkühlung in engen Bereichen unmöglich ist. Besonders im Profil am Grossen Gamsberg und bei Göllschau schwanken die Alter innerhalb weniger Zehnermeter um grosse Beträge.

So muss man annehmen, dass Fluide ein partielles Öffnen des Rb-Sr-Systems der Biotite und der anderen Mineralphasen bewirkten, wobei das Ge-

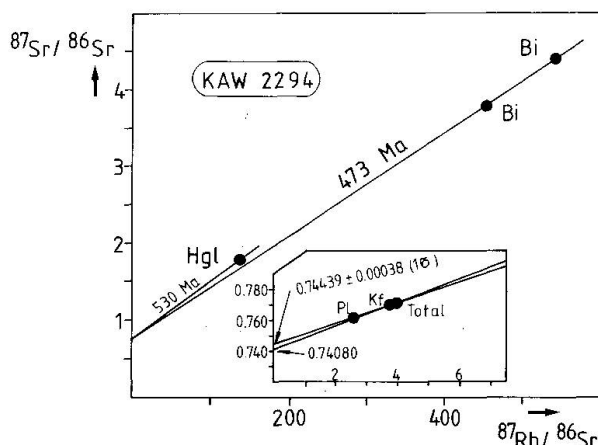


Abb. 20 Rb-Sr-Mineralisochrone, KAW 2294 Gamsberg-Granit (massig).

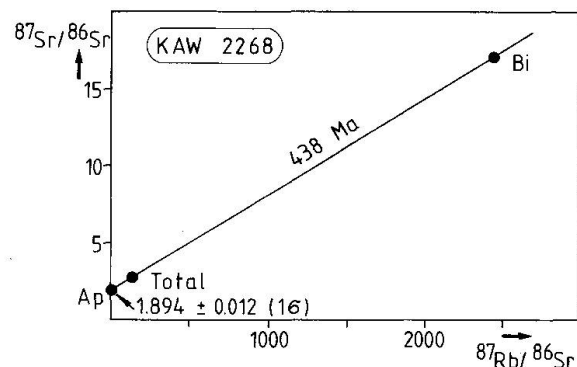


Abb. 21 Rb-Sr-Mineralisochrone, KAW 2268 Göllschau-Granitgneis.

samtgestein zumindest im Gebiet Gamsberg-Weener ein geschlossenes System blieb. Die Göllschau-Granitgneise zeigen eine offensichtliche Störung des Gesamtgesteinssystems an (Abb. 14).

Diejenigen Proben, bei denen die Mineralphasen Kalifeldspat, Plagioklas und Apatit zusammen mit dem Total eine Gerade definieren, die dem Biotitalter entspricht (Abb. 20 und 21), zeigen zum einen möglicherweise Momentaufnahmen einer Beeinflussung während der postmetamorphen Abkühlung mit Ausbildung grosser Altersunterschiede aufgrund lokal unterschiedlicher Deformationsgrade der Gesteine (diskrete Scherzonen, Klüftung). Andererseits ist ein verjüngtes Alter auch durch Mischung mit jungen Glimmern denkbar.

7.4. K-Ar-GLIMMERDATIERUNGEN

Aus dem bearbeiteten Gebiet wurden aus den meisten Proben Biotite sowie einige Hellglimmer analysiert.

Die regionale Verteilung der K-Ar-Alter zeigt ebenfalls ein ziemlich verwirrendes Bild (Tab. 3, Abb. 22).

Insgesamt konnten sechs Mineralkonzentrate von syndeformativ gesprossenen Hellglimmern gemessen werden. Ihre Alter liegen zwischen 496 und 503 Ma, bei einer Probe (KAW 2273 Hgl) bei 519 Ma.

Die Biotitalter streuen im Profil des deformierten Gamsberg-Granits am Gamsberg-E-Hang zwischen 384 und 490 Ma. Das jüngste Alter (384 Ma) zeigt ein zu ca. 95% aus braunem Biotit bestehendes Konzentrat aus der Probe KAW 2271, das aus der gleichen Fraktion abgetrennte Konzentrat aus 100% grünem Biotit hat ein Alter von 427 Ma. Der Biotit von Nauchas ergibt 347 bzw. 357 Ma (KAW 2491), die Konzentrate zeigen auch hohe Anteile an braunem Biotit!

Tab. 3 K-Ar-Mineralanalysen.

KAW- Nr.	Mineral	Fraktion (mesh)	Mess Nr.	Ar- Einwaage (g)	% K	% ^{40}Ar rad	^{40}Ar rad * 10^{-6} (cm^3/g STP)	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ * 10^3	$^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar}$ * 10^4	Alter (Ma) (± 1 Sigma)
Aplite										
2284	Bi	60-100	1256	0.01344	7.48	95.17	152.833	6.1077	19.0305	461 \pm 5
2284	Hg1	100-200	1257	0.01401	8.82	99.28	198.846	40.8001	120.1944	503 \pm 5
Gamsberg- Granit										
2294	Bi I.	100-200	1107	0.01036	7.78	99.60	178.863	72.3417	209.6504	512 \pm 5
2294	Bi III.a	90-100	1051	0.00956	7.62	99.67	172.732	86.0893	251.7544	508 \pm 6
2294	Bi III.	100-200	1411	0.02280	7.66	99.68	179.912	92.6145	262.9588	521 \pm 5
2294	Bi IV.	60-100	1047	0.00627	7.67	99.64	177.990	79.5970	228.6158	516 \pm 6
2294	Bi V.	100-200	982	0.01049	7.77	99.45	177.980	53.0391	154.0442	510 \pm 5
2294	Hg1	50-100	983	0.00820	9.13	98.60	204.212	20.9554	61.7935	499 \pm 6
2295	Bi	100-200	1105	0.01304	7.62	99.68	174.800	89.5843	260.3980	511 \pm 5
2271-2273										
2271	Bi braun	60-100	1551	0.01078	7.62	95.46	126.761	6.4898	24.9107	384 \pm 4
2271	Bi grün	60-100	1550	0.01155	7.81	95.50	146.150	6.5493	22.3574	427 \pm 5
2271	Bi	100-200	1130	0.00955	7.74	97.46	141.852	11.5890	41.2254	419 \pm 5
2273	Bi	60-100	980	0.00945	8.13	96.26	165.681	7.8879	24.9242	460 \pm 5
2273	Bi	90-100	1232	0.01473	7.94	99.09	164.227	32.1392	102.9976	466 \pm 5
2273	Bi	50-100	1054	0.00919	8.06	98.70	165.628	22.5773	72.5401	464 \pm 5
2273	Bi	100-200	1106	0.01300	7.82	98.92	165.580	27.2411	85.1361	476 \pm 5
2273	Hg1	50-100	984	0.00874	8.70	99.14	203.567	34.2114	96.9707	519 \pm 5

Tab. 3 (Fortsetzung).

KAW- Nr.	Mineral	Fraktion (mesh)	Mess Nr.	Ar- Einwaage (g)	% K	% ^{40}Ar rad	^{40}Ar rad $\cdot 10^{-6}$ (cm^3/g STP)	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} \cdot 10^3$	$^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar} \cdot 10^4$	Alter (Ma) (\pm Sigma)
2274	Bi	50-100	1049	0.00811	7.94	99.08	158.276	31.8318	105.8376	451 \pm 5
2274	Bi	60-100	1039	0.00925	7.96	99.37	170.851	46.3273	143.4764	482 \pm 5
2276	Bi	60-100	1101	0.01382	7.76	97.33	143.761	11.0368	38.7885	423 \pm 4
2276	Bi	90-100	1100	0.00954	7.73	96.42	144.679	8.2200	28.3252	427 \pm 5
2280	Bi	60-100	1052	0.00645	7.79	98.17	151.873	16.0547	54.0769	443 \pm 5
2280	Bi	50-100	981	0.01585	8.01	97.51	154.832	11.8292	39.9178	439 \pm 4
2280	Bi	90-100	1035	0.00766	7.81	98.38	170.719	18.1188	54.5485	490 \pm 6
2280	Hg1	50-100	1048	0.00641	9.15	99.07	202.889	31.3972	93.8363	496 \pm 6
Weener- Tonalit										
2282	Bi I.	100-200	1141	0.00960	7.85	99.57	179.990	68.1591	198.0078	510 \pm 6
2282	Bi II.	100-200	1142	0.00992	7.99	99.90	182.258	280.8136	822.7070	508 \pm 5
2287	Bi	50-100	1238	0.01428	7.73	99.77	167.453	122.8579	378.5051	486 \pm 5
2288	Bi	100-200	1162	0.00969	7.75	99.75	170.220	114.9596	349.2553	492 \pm 5
2289	Bi	100-200	1163	0.01514	7.31	99.69	161.273	93.5089	282.6573	493 \pm 5
2290	Bi	90-180	1240	0.01594	7.84	99.67	199.957	89.2673	233.3773	560 \pm 6
			1581	0.01535	7.83	99.60	201.861	73.7776	190.9292	564 \pm 6
2291	Bi	50- 90	1233	0.01372	7.92	99.97	171.696	694.5745	2142.5296	486 \pm 5

Tab. 3 (Fortsetzung).

KAW- Nr.	Mineral	Fraktion (mesh)	Mess Nr.	Ar- Einwaage (g)	% K	% ^{40}Ar rad	^{40}Ar rad $\times 10^{-6}$ (cm ³ /g STP)	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} \times 10^3$	$^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar} \times 10^4$	Alter (Ma) (\pm Sigma)
Granitgneise Göllschau										
2266	Bi	100-200	1143	0.00737	7.66	99.67	166.206	85.3399	262.2120	486 \pm 6
2268	Bi	100-200	1146	0.00999	7.59	99.04	164.657	30.5620	93.3362	486 \pm 5
2269	Bi	60-100	1131	0.00794	7.68	99.63	169.770	77.2086	232.7687	494 \pm 6
2269	Bi	100-200	1144	0.00839	7.82	99.61	174.315	74.0199	221.2624	498 \pm 6
2269	Hg1	60-100	1145	0.01323	8.93	99.01	198.442	29.7887	88.7902	497 \pm 5
2269	Hg1	80-180	1561	0.00791	8.93	99.60	199.567	72.6511	216.6003	496 \pm 6
Migmatit Nauchas										
2491	Bi	100-200	1579	0.01561	6.95	91.17	104.910	3.3451	13.2824	357 \pm 4
2491	Bi	35-100	1679	0.01201	6.78	92.19	100.960	3.7769	15.6410	347 \pm 4

Bei verschiedenen Proben sind einzelne Konzentrate mit römischen Ziffern numeriert. Hierbei sind gleiche Korngrößen aus verschiedenen Siebfractionen separiert worden.

Bi = Biotit, Hg1 = Hellglimmer

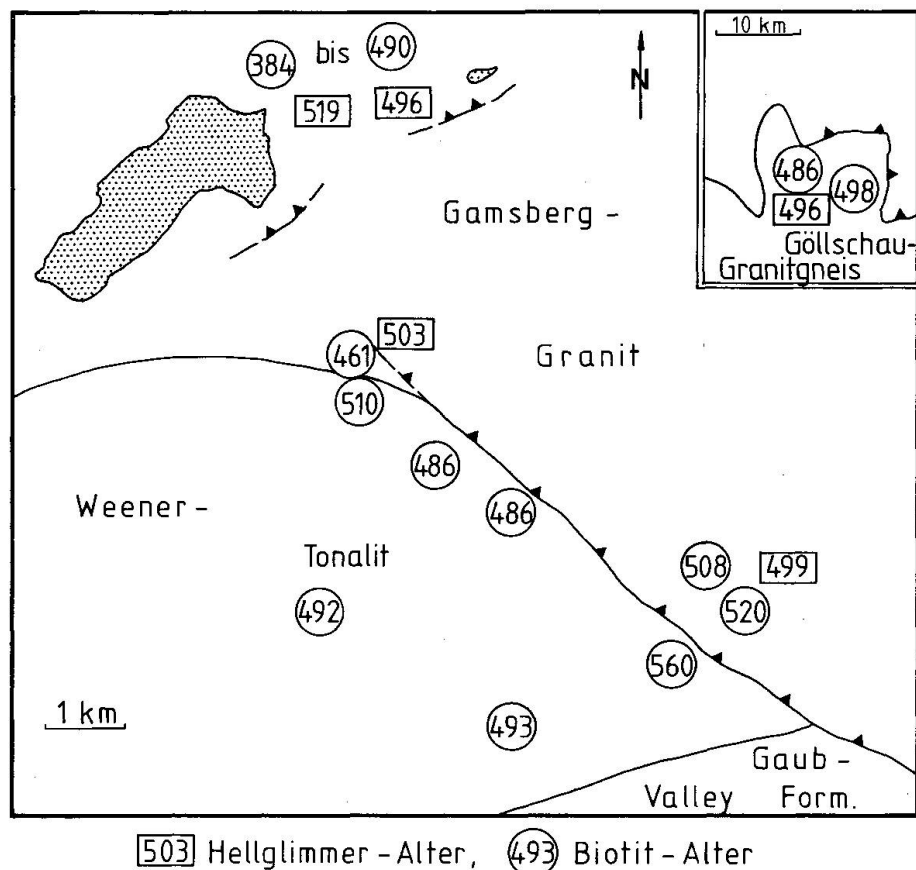


Abb. 22 Regionale Verteilung der K-Ar-Glimmeralter im Gebiet Grosser Gamsberg-Farm Weener-Farm Göllschau.

In den übrigen Bereichen (massiger Gamsberg-Granit, Weener-Tonalit, Granitgneise Göllschau) liegen die Alterswerte deutlich höher (Abb. 22). In verschiedenen Proben ergeben die Biotit-Alter grössere Werte als die entsprechenden Hellglimmeralter (Tab. 3). Insgesamt zeigen die K-Ar-Biotitalter ein deutliches Maximum bei ca. 494 Ma.

Betrachtet man die Rb-Sr-Glimmeranalysen, so sind die K-Ar-Biotitalter meist erheblich höher als die Rb-Sr-Daten, ähnliche Diskrepanzen sind bei den Hellglimmeraltern sichtbar (Abb. 16, Tab. 2 und 3).

7.4.1. K-Ar-Diagramme

Wie die Tabelle 3 zeigt, ergibt sich insgesamt eine Häufung der Biotit- und Hellglimmeralter bei 500 Ma. Der deformierte Gamsberg-Granit (Gamsberg-E-Hang) hat zum Teil sehr stark verjüngte Biotite. Eine Möglichkeit der Darstellung von K-Ar-Daten bietet das $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar}$ -Diagramm («Isochronendiagramm»). Dieses Diagramm ist in seiner Aussagekraft problematisch und stellt in den meisten Fällen nichts weiter als eine Luft-Mischungslinie dar.

Der Spread hängt dabei nicht vom K-Gehalt ab, sondern allein von der Zumischung unterschiedlicher Mengen Luft-Argon (FLISCH 1986).

Ein K-Ar-«Isochronendiagramm» ist verlässlich, wenn im $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $1/^{36}\text{Ar}$ -Plot keine lineare Abhängigkeit der Probenpunkte auftritt (FLISCH 1986). Zeigt sich im $1/^{36}\text{Ar}$ -Diagramm eine Gerade mit einem stark vom $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ -Luftverhältnis von 295.5 abweichenden Initial, so kann die «Isochrone» nach FLISCH (1986) unter bestimmten Voraussetzungen trotzdem aussagekräftig sein:

1. Die Proben müssen während der Kristallisation verschiedene Mengen initiales Ar eingebaut haben, um einen Spread auf der «Isochrone» zu erzeugen.
2. Eine gut definierte «Isochrone» zeigt, dass das $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ -Verhältnis, welches eingebaut wurde oder diffusiv verlörend, für alle Proben gleich war.
3. Der Ordinatenschnittpunkt der «Isochrone» muss stark vom Luftverhältnis von 295.5 abweichen, sonst ist eine Luft-Mischung nicht auszuschliessen. Das bedeutet, dass das initiale Ar-Verhältnis der Proben verschieden von 295.5 war und dass entweder ^{40}Ar -Überdruck eingebaut wurde oder ein ^{40}Ar -Verlust auftrat.
4. Alle Proben müssen im «Isochronendiagramm» und im $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $1/^{36}\text{Ar}$ -Diagramm das gleiche $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ -Intercept aufweisen.

Die K-Ar-Daten der Glimmer aus dem Gamsberg-Weener-Gebiet und von der Farm Göllschau 20 zeigen in beiden Diagrammen eine lineare Anordnung der Punkte. Die initialen $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ -Verhältnisse sind jedoch meist unterschiedlich. Als Beispiele für K-Ar-Isochronendiagramme seien Daten aus den verschiedenen Bereichen des Gamsberg-Granits angeführt (Abb. 23 und 24).

Für den deformierten Gamsberg-Granit ergibt sich im «Isochronen-Diagramm» eine Gerade, die ein «Alter» von 487 Ma anzeigt. Das Intercept mit der $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ -Achse liegt bei ca. -1000 (Abb. 23). Im $1/^{36}\text{Ar}$ -Plot findet man ebenfalls eine lineare Anordnung mit etwa gleichem Initial (Abb. 23). Dieses Diagramm könnte unter den oben gemachten Voraussetzungen bedeutungsvoll sein.

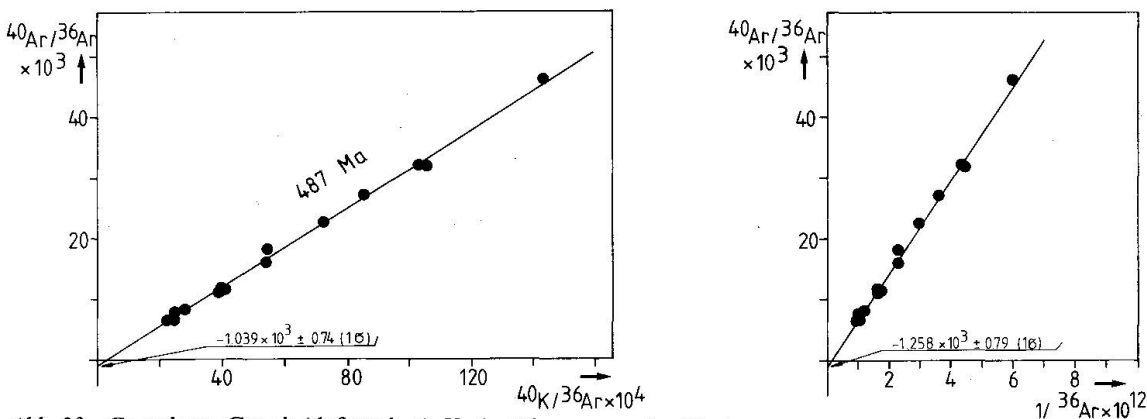


Abb. 23 Gamsberg-Granit (deformiert): K-Ar-Diagramme der Biotite.

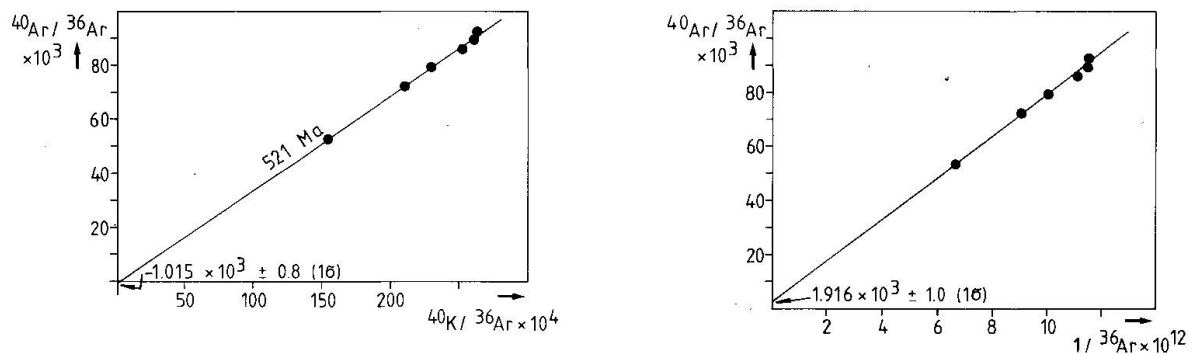


Abb. 24 Gamsberg-Granit (massig): K-Ar-Diagramme der Biotite.

Beim Profil des massigen Gamsberg-Granits resultiert im «Isochronen-Diagramm» eine Gerade mit ebenfalls negativem (ca. -1000) Intercept, bei einem «Alter» von 521 Ma (Abb. 24), im $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $1/^{36}\text{Ar}$ -Diagramm dagegen zeigt sich eine Gerade mit hohem positivem Ordinatenschnittpunkt.

Eine Luft-Argon-Mischung ist für alle Proben wahrscheinlich. Aufgrund des lokal unterschiedlichen Deformationsgrades der Gesteine ist jede Probe (beachte die verschiedenen Korngrößen) in ihrem Mischungs- bzw. Adsorptionsverhalten anders. Als Voraussetzung muss dabei gelten, dass die Menge Luft-Argon, welche aus dem Rest-Luftanteil der Extraktionslinie zugemischt wurde, vernachlässigbar klein ist gegenüber der beim Schliessen des Mineralsystems eingefangenen Ar-Menge. Der Line-Blank beträgt 3 bis $7 \cdot 10^{-9}$ ccm STP $^{40}\text{Ar}/\text{g}$, die Menge ^{40}Ar -Luft der Proben liegt zwischen $0.3 \cdot 10^{-5}$ und $0.8 \cdot 10^{-6}$ ccm/g.

7.4.2. Verjüngungsmechanismus der Biotite im System K-Ar

Trägt man für alle bearbeiteten Glimmer den ^{36}Ar -Gehalt gegen das Alter auf, so zeigt sich besonders bei den Biotiten ein deutlicher Trend (Abb. 25). Mit zunehmendem Grad der Verjüngung nimmt der ^{36}Ar -Gehalt der Glimmer zu, das heisst, die Verjüngung ist proportional zur Zumischung von Luft-Argon. Für die Hellglimmer ist keine altersabhängige Tendenz ablesbar. Die Biotite des massigen Gamsberg-Granits liegen im Alter durchschnittlich bei 512 Ma, am Gamsberg-E-Hang sinkt das Alter innerhalb enger Bereiche bis auf 384 Ma (vgl. Biotit KAW 2491 Nauchas 347–357 Ma). Je höher der Anteil an braunem Biotit, um so grösser der Verjüngungsgrad. Die Bildung von braunem Biotit wird zunehmenden $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ -Verhältnissen im Glimmer zugeschrieben, bedingt durch hydrothermale Beeinflussungen. Eine Luft-Argon-Komponente ist offensichtlich (vgl. Abschnitt 7.3.1.).

Man muss ebenfalls festhalten, dass die Menge ^{36}Ar nicht mit kleiner werdenden Korngrößen der verarbeiteten Fraktionen steigt. So scheiden Adsorp-

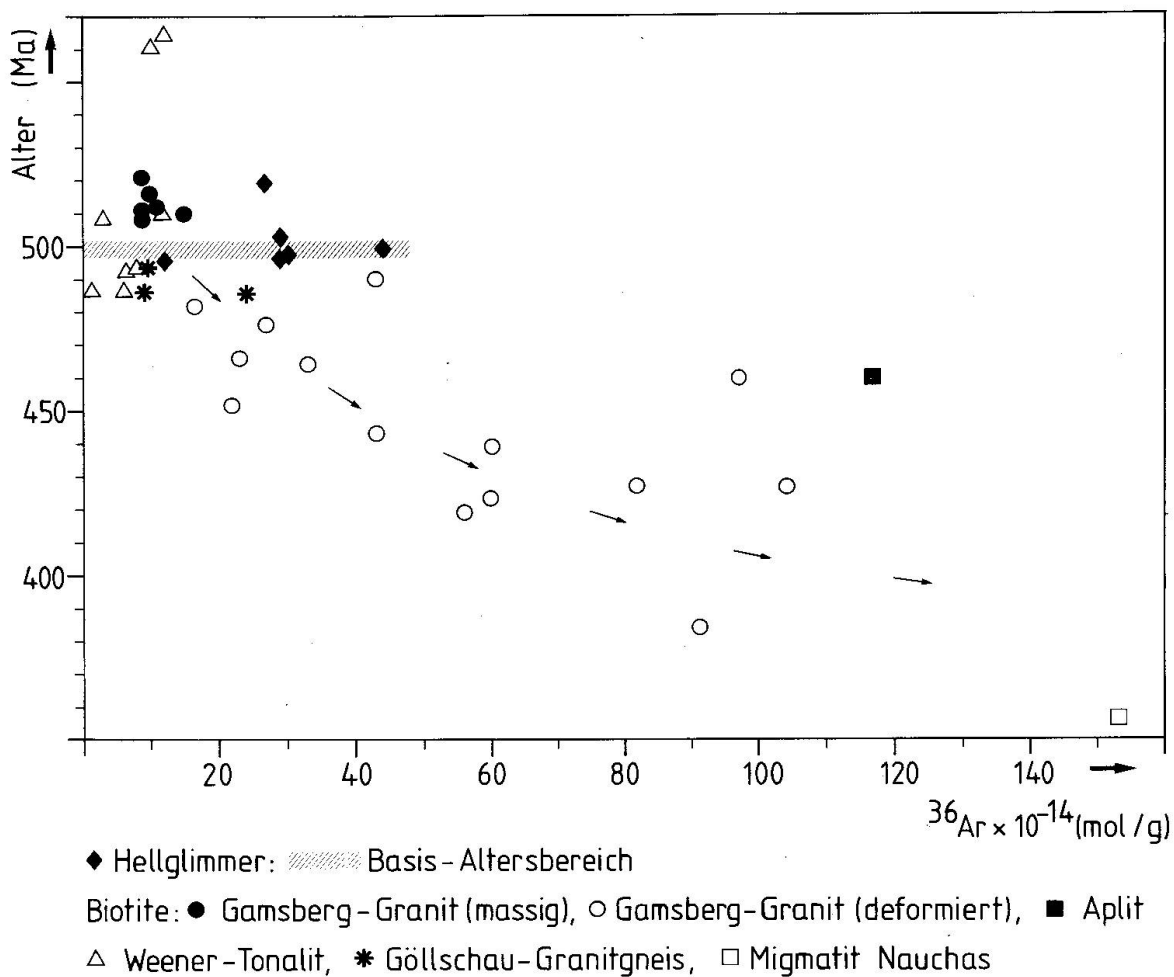


Abb. 25 ^{36}Ar -Gehalt der Glimmer in Abhängigkeit des Alters.

tionseffekte von Luft-Argon während der Verarbeitung im Labor aufgrund von grösseren Mineraloberflächen der künstlichen Korngrößen weitgehend aus.

Die genannten Evidenzen sprechen beim K-Ar-System der Biotite für einen Verjüngungsmechanismus, der bei Zumischung von Ar-common mit einer fluiden Phase (Luft-Argon enthaltend) den Gehalt an ^{40}Ar rad verringert (diffusiver Ar-rad-Verlust). Dabei ist der Grad der Verjüngung von der zugeführten Menge an ^{36}Ar abhängig (Abb. 25). Die Hellglimmer sind gegen eine Abfuhr von ^{40}Ar anscheinend resistent. Das gleiche Verjüngungsphänomen an Biotiten, d.h. Abfuhr der radiogenen Komponente und Zumischung von common-Anteil, ist für das System Rb-Sr bekannt (BIELSKI et al. 1979).

7.5. SPALTSPURDATIERUNGEN AN ZIRKONEN

An zwei Proben aus dem Gebiet Grosser Gamsberg-Farm Weener 193 wurden Zirkon-Spaltspurdatierungen durchgeführt, weitere Altersbestimmungen

sind in Arbeit (SEIFERT und HURFORD, in prep.). Es handelt sich um jeweils eine Probe des deformierten Gamsberg-Granits (KAW 2273) sowie des Weener-Tonalits (KAW 2291). Die vorläufigen Resultate zeigen folgende Alter:

KAW 2273	372 ± 35 Ma
KAW 2291	359 ± 42 Ma

Die berechneten Altersfehler sind wegen der geringen Dichte der induzierten Spaltspuren sehr hoch, da die Bestrahlung für die niedrigen U-Gehalte der Zirkone (99 bzw. 141 ppm) zu gering war. Die Länge der gemessenen Spaltspuren ist mit ca. 4–5 μm äusserst klein und lässt darauf schliessen, dass sich die Zirkone relativ lange im Bereich der «Annealing-Temperatur» befanden. Genauere Angaben zu diesen vorläufigen Datierungen sind der in Vorbereitung befindlichen Publikation (siehe oben) zu entnehmen. Zirkon-Spaltspuren datieren die Abkühlung auf 200–250°C. HURFORD (1986b) und GLEADOW und BROOKS (1979) ermittelten für Zirkone aus Ost-Grönland $200 \pm 50^\circ\text{C}$, während HURFORD (1986a) für Proben aus den Schweizer Alpen $240 \pm 50^\circ\text{C}$ vorschlägt.

8. Diskussion und Schlussfolgerungen

8.1. GEOCHEMIE

Die Grundgebirgsgesteine am Damara-Südrand/Gamsberg-Granit, Weener-Tonalit, Granitgneise Göllschau und die Granite der Bohrung Natas 2 sind I-Typ-Magmatite. Die aplitischen Intrusiva im Gebiet Gamsberg-Weener können als anatektische Krustenmobilisate aufgefasst werden. Mit grosser Wahrscheinlichkeit sind die Göllschau-Granitgneise Differentiate des Gamsberg-Granits. Der Weener-Tonalit dagegen hat vermutlich eine eigene Entwicklung durchlaufen. Alle Serien belegen einen kalkalkalischen Trend.

8.2. GESAMTGESTEINSDATIERUNGEN

1. Für den Gamsberg-Granit ergibt die Referenzgerade B mit einem Alter von 1190 ± 23 Ma bei einem Sr-Initial von 0.7026 die wahrscheinlichste Erklärung. Das Alter wird als Bildungs- bzw. Intrusionsalter interpretiert. Aufgrund der unregelmässigen Verteilung der Analysenpunkte auf der Referenzgeraden resultiert eine statistische Unsicherheit bei der Definition des Sr-Initials sowie des Altersfehlers. Der angegebene Fehler von 23 Ma ist daher eher zu klein. Das Initial der Version B liegt im Bereich der Sr-Entwicklung für den Oberen Mantel. Das Gesamtgesteinssystem des Gamsberg-Granits für Grossproben (mind. 20–25 kg) ist von der Damara-Metamorphose

vermutlich nicht gestört worden. HUGO und SCHALK (1971) geben aus dem Bereich der Strasse auf Farm Hohenheim 24 (ca. 15 km nordöstlich des Grossen Gamsberges, Abb. 2) ein Minimum- $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -Zirkon-Alter von 1080 ± 70 Ma an. Die Diskordanz der $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - bzw. $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -Alter (940 bzw. 886 Ma) könnte auf eine jüngere Beeinflussung (Damara-Metamorphose?) hindeuten. MALLING (1978) nennt für den Gamsberg-Granit ein Rb-Sr-Gesamtgesteinsalter von 1090 Ma.

2. Drei Aplite aus dem Gebiet Gamsberg-Weener ergeben eine Referenzgerade von 926 ± 21 Ma bei einem hohen initialen Sr-Verhältnis von 0.7215. Gehören alle drei Aplite zur selben magmatischen Sequenz, so ist das Alter der Geraden entweder als Bildungs- oder Verjüngungsalter zu interpretieren. Ähnliche Alter beschreiben HUGO und SCHALK (1971) für einen Granophyr im Rehoboth-District (930 ± 70 Ma).
3. Für den östlichen Teil des Weener-Tonalitkörpers auf der Farm Weener 193 ist der extrem kleine Spread im $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis selbst über Distanzen von 5 km charakteristisch. Es ist unmöglich, eine vernünftige «Isochrone» zu rechnen, das Ergebnis ist nicht interpretierbar. Trotz der schlecht definierten Referenzgeraden erscheint es auch nach den geochemischen Evidenzen (Abb. 7 und 8) als sehr wahrscheinlich, dass der Weener-Tonalit wesentlich älter ist als der Gamsberg-Granit.
4. Für die Göllschau-Granitgneise kann kein Alter angegeben werden. Das Rb-Sr-Gesamtgesteinssystem wurde durch die Damara-Metamorphose oder Post-Damara-Ereignisse gestört, die Totalpunkte drehen in die Mineralisochronen ein. Ähnliches gilt für die Referenzgerade der Granite der Bohrung Natas 2.

8.3. GLIMMERALTER UND ZIRKON-SPALTSPURDATIERUNGEN

Insgesamt kann man die Glimmer- und Zirkonalter aus dem Gamsberg-Weener-Gebiet und von der Farm Göllschau folgendermassen deuten:

1. Alle Rb-Sr-Hellglimmeralter liegen in der Grössenordnung von 490–505 Ma, KAW 2294 bei 530 Ma. Da die Hellglimmer bekanntlich sehr resistent gegen Verjüngungen sind, ergeben ihre Alter eine gute Basis für die Interpretation. Die Temperaturabschätzungen für das bearbeitete Gebiet deuten auf etwa 450°C. Wahrscheinlich repräsentieren die Rb-Sr-Hellglimmeralter den Zeitraum der Glimmerbildung während oder kurz nach dem Höhepunkt der druckbetonten Metamorphose am Damara-Südrand. Da die Alter der syntektonisch gesprossenen Hellglimmer im Gebiet Gamsberg-Weener alle jünger sind als das Rb-Sr-Gesamtgesteinsalter für die Platznahme des posttektonischen und postmetamorphen Donkerhuk-Granits im südli-

chen Damara-Orogen (523 Ma, BLAXLAND et al. 1979), kann man annehmen, dass das Grundgebirge am Damara-Südrand das Temperaturmaximum der Metamorphose nach der Überschiebungsphase bedingt durch heisse überschobenen Gesteine der Damara-Sequenz erreicht hatte. Für den Damara-Südrand haben HARTMANN et al. (1983, S. 235) Drücke von 6–7 kb bei etwa 500°C abgeschätzt.

2. Die K–Ar–Hellglimmeralter liegen bis auf eine Ausnahme bei etwa 498 Ma und werden als Abkühlungsalter auf $350 \pm 50^\circ\text{C}$ angesehen.
3. Die K–Ar–Biotitalter zeigen eine Häufung bei 494 Ma und sind somit etwa konkordant mit den Hellglimmeraltern. Die erhöhten Alter der Biotite des massigen Gamsberg-Granits sowie einiger Tonalitproben werden einem Ar-Überdruck im Mineral zugeschrieben.
4. Das Rb–Sr–Biotitsystem erfährt in weiten Bereichen eine späte Störung durch fluide Phasen und reagiert viel empfindlicher als das K–Ar-System. Dabei wird ^{87}Sr rad selektiv abgeführt und Sr-common zugemischt. Die Verjüngung ergibt am Gamsberg Alter bis hinunter zu 350 Ma (bei Nauchas 287 Ma)! Die «Mineralisochronen» können als eingefrorene Momentaufnahmen von Fluidreaktionen nach der Damara-Metamorphose angesehen werden oder sind als Verjüngungen durch Mischung erklärbar.
5. Für das K–Ar–Biotitsystem gilt ein ähnlicher Verjüngungsmechanismus. Aufgrund der vorgestellten Evidenzen ist es offensichtlich, dass bei abnehmenden Altern, also abnehmenden ^{40}Ar -rad-Gehalten, der Anteil an Luft-Argonkomponente (^{36}Ar) stark ansteigt. Dabei deutet auch die Umbildung von grünem zu braunem Biotit auf das Durchströmen mit hydrothermalen Lösungen von hohem Sauerstoffpartialdruck.
6. Zwei Zirkon-Spaltspuralter aus dem Gebiet Gamsberg–Farm Weener liegen bei 359 ± 42 bzw. 372 ± 35 Ma und fallen fast zusammen mit dem jüngsten K–Ar–Biotitalter aus dem Gamsberg-Granit von 384 Ma. In Verbindung mit den als Akühlungsalter interpretierten Biotitaltern ergeben sich maximale durchschnittliche Abkühlraten von $1\text{--}2^\circ\text{C}/\text{Ma}$. Diese Werte sind extrem klein und können, wie bei den Glimmerdatierungen gefolgert wurde, mit einer nachträglichen Temperung im Zeitraum zwischen ca. 495 und 360 Ma erklärt werden. Die dabei erreichten Temperaturen müssen im Bereich von $200\text{--}300^\circ\text{C}$ gelegen haben.
7. Es wird angenommen, dass möglicherweise mehrere aufeinanderfolgende Ereignisse mit starkem Fluiddurchsatz das Grundgebirge im Gebiet Grosser Gamsberg–Farm Weener und Farm Göllschau im Zeitraum zwischen ca. 495 und 360 Ma erfasst haben. Dabei wurde das K–Ar- und das Rb–Sr-System der Biotite gleichzeitig, jedoch in unterschiedlichem Mass, verjüngt. Die Fluide haben das Gestein besonders am Gamsberg nur in sehr engen Bereichen durchströmt und die partielle Öffnung der Biotit- und anderer Mineralsysteme bewirkt. Das Gesamtgestein blieb dabei im Gebiet Gamsberg-

Weener für Rb-Sr ein geschlossenes System. Die jüngsten K-Ar-Biotitalter von 384 Ma (Gamsberg-Granit) bzw. 347 bzw. 357 Ma (Biotit Nauchas-Pass) stellen vermutlich Maximalalter für ein letztes durchgreifendes Fluidereignis dar, welches das Basement am unmittelbaren Damara-Südrand grossräumig beeinflusste. Es ist jedoch durchaus möglich, dass man noch jüngere hydrothermale Aktivitäten nachweisen kann. Dies müsste Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Vielleicht werden hier erste Auswirkungen eines prä- bis früh-Karoo-zeitlichen Magmatismus in Zusammenhang mit der Zerstückelung des Gondwana-Kontinents registriert. Unter diesem Gesichtspunkt könnten einige der jungen Glimmeralter aus dem Damara-Orogen möglicherweise anders als bisher erklärt werden. Nach wie vor unklar bleibt das Alter einiger Amphibolitintrusionen im Gamsberg-Granit.

Verdankungen

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, DFG (Ah 17/3-1) grosszügig unterstützt, ebenso vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (SNF). Mein aufrichtiger Dank geht an Frau Prof. E. Jäger, die es mir ermöglichte, die Untersuchungen in Bern durchzuführen. Thanks to Dr. A.J. Hurford for counting fission tracks. Ich danke allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, besonders den Kollegen von der Abt. für Isotopengeologie, Bern.

Literaturverzeichnis

- AHRENDT, H., BEHR, H.J., CLAUER, N., HUNZIKER, J.C., PORADA, H. und WEBER, K. (1983): The northern branch: Depositional development and timing of the structural and metamorphic evolution within the framework of the Damara Orogen. In: MARTIN, H. und EDER, J.W. (Eds.): Intracontinental foldbelts. Springer Verlag, Berlin, 1983, 732-743.
- BIELSKI, M., JÄGER, E. und STEINITZ, G. (1979): The geochronology of Iqna granite (Wadi Kid Pluton), Southern Sinai. *Contrib. Mineral. Petrol.* 70, 159-165.
- BLAXLAND, A., GOHN, E., HAACK, U. und HOFFER, E. (1979): Rb-Sr ages of late-tectonic granites in the Damara orogen, Southwest Africa/Namibia. *Neues Jb. Miner. Mh.*, 11, 498-508.
- BURGER, A.J. und COERTZE, F.J. (1973): Radiometric age measurements on rocks from Southern Africa to the end of 1971. *Bull. geol. Surv. S. Afr.*, 58, 46 p.
- BURGER, A.J. und COERTZE, F.J. (1973-74): Age determinations - April 1972 to March 1974. *Ann. geol. Surv. S. Afr.*, 10, 135-141.
- BURGER, A.J. und COERTZE, F.J. (1975-76): Summary of age determinations carried out during the period April 1974 to March 1975. *Ann. geol. Surv. S. Afr.*, 11, 317-321.
- BURGER, A.J. und WALRAVEN, F. (1975-76): Summary of age determinations carried out during the period April 1975 to March 1976. *Ann. geol. Surv. S. Afr.*, 11, 323-329.
- CHAPPELL, B.W. und WHITE, A.J.R. (1974): Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8, 173-174.
- DE KOCK, W.P. (1934): The geology of the western Rehoboth. *Mem. geol. Surv. S. Afr. (S.W.A. Series)*, 1.
- DE LA ROCHE, H., LETTERIER, J., GRANDCLAUDE, P. und MARCHAL, M. (1980): A classification of vol-

- canic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major-element analyses. Its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.*, 29, 183-210.
- DE WAAL, S.A. (1966): The Alberta complex, a metamorphosed layered intrusion, north of Nauchas, South West Africa, the surrounding granites and repeated folding in the Damara system. Unpubl. D. Sc. Thesis, Univ. of Pretoria.
- FAURE, G. (1977): Principles of isotope geology. John Wiley & Sons, New York, 1977.
- FLISCH, M. (1982): Potassium-argon analyses. In: ODIN, G.S. (Ed): Numerical dating in stratigraphy, John Wiley & Sons, Chichester.
- FLISCH, M. (1986): K-Ar dating of quarternary samples. In: HURFORD, A.J., JÄGER, E. und TEN CATE, J. (Eds.): Workshop on dating young sediments, CCOP, Unesco (1986).
- GEOLOGICAL MAP OF SOUTH WEST AFRICA/NAMIBIA, 1:1000000, 1980, Geol. Surv. S. Afr., Govt. Printer Pretoria.
- GERMS, G.J.B. (1972): The stratigraphy and paleontology of the lower Nama group, South West Africa. *Bull. Precambr. Res. Unit, Univ. Cape Town*, 12, 250 pp.
- GERMS, G.J.B., (1983): Implications of a sedimentary facies and depositional environment analysis of the Nama group in South West Africa/Namibia. *Spec. Publ. geol. Soc. S. Afr.*, 11, 89-114.
- GLEADOW, A.J.W. und BROOKS, C.K. (1979): Fission track dating, thermal histories and tectonics of igneous intrusions in east Greenland. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 71, 45-60.
- HAACK, U., GOHN, E. und KLEIN, J.A. (1980): Rb/Sr ages of granitic rocks along the middle reaches of the Omaruru river and the timing of orogenetic events in the Damara belt (Namibia). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 74, 349-360.
- HÄLBICH, I.W. (1970): The geology of the western Windhoek und Rehoboth districts: A stratigraphic-structural analysis of the Damara System. Unpubl. D. Sc. Thesis, Univ. Stellenbosch, 216 pp.
- HARTMANN, O., HOFFER, E. und HAACK, U. (1983): Regional metamorphism in the Damara orogen: Interaction of crustal motion and heat transfer. *Spec. Publ. geol. Soc. S. Afr.*, 11, 233-241.
- HAWKESWORTH, J.C., GLEDHILL, A.R., RODDICK, J.C., MILLER, R.McG. und KRÖNER, A. (1983): Rb/Sr and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ studies bearing on models for the thermal evolution of the Damara belt, Namibia, *Spec. Publ. geol. S. Afr.*, 11, 323-338.
- HOFFER, E. (1978): On the late formation of paragonite and its breakdown in pelitic rocks of the southern Damara orogen (Namibia). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 67, 209-219.
- HOFFER E. und PUHAN, D., (1975): Isoreaktionsgrade in den Metapeliten des Damara-Orogens. *Ber. Sonderforschungsbereich 48 Univ. Göttingen*, 1, 111-151 (unveröffentlicht).
- HOFFMANN, K.H. (1983): Lithostratigraphy and facies of the Swakop Group of the southern Damara belt, SWA/Namibia. *Spec. Publ. geol. Soc. S. Afr.*, 11, 43-63.
- HUGO, P.J. und SCHALK, K.E.L. (1971): The isotopic ages of certain granites and acid lavas in the Rehoboth and Maltahöhe districts, South West Africa. *Ann. geol. Surv., S. Afr.*, vol. 9, 1971-1972, 103-105.
- HURFORD, A.J. und GREEN, P.F. (1982): A user's guide to fission track dating calibration. *Earth and Planetary Science Letters*, 59, 343-354.
- HURFORD, A.J. und GREEN, P.F. (1983): The Zeta age calibration of fission-track dating. *Isotope Geoscience*, 1, 285-317.
- HURFORD, A.J. (1986a): Cooling and uplift patterns in the Lepontine Alps south central Switzerland and age of vertical movement on the Insubric fault line. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 92, 413-427.
- HURFORD, A.J. (1986b): Application of the fission track dating method to young sediments: principles, methodology and examples. In: HURFORD, A.J., JÄGER, E. und TEN CATE, J. (Eds.): Workshop on dating young sediments, CCOP, Unesco (1986).
- JÄGER, E. (1979): The Rb-Sr method. In: JÄGER, E. und HUNZIKER, J.C. (Eds.): Lectures in isotope geology. Springer-Verlag, Berlin, 1979.

- KRÖNER, A. (1982): Rb/Sr geochronology and tectonic evolution of the Pan-African Damara belt of Namibia, Southwestern Africa. *Amer. Jour. Sci.*, 282, 1471–1507.
- MALLING, S. (1978): Some aspects of the lithostratigraphy and tectono-metamorphic evolution in the Nauchas-Rehoboth area, SWA. 14–15th. Ann. Rep. Precambr. Res. Unit, Univ. Cape Town, 183–193.
- MARTIN, H. (1982): Die Trias im südlichen Afrika. *Geol. Rundschau*, 71/3, 937–947.
- MARTIN, H. (1983): Overview of the geosynclinal, structural and metamorphic development of the intracontinental branch of the Damara orogen. In: MARTIN, H. und EDER, J. W. (Eds.): *Intracontinental fold belts*. Springer Verlag, Berlin, 1983, 473–502.
- MILLER, R. McG. (1983): The Pan African Damara orogen of South West Africa/Namibia. *Spec. Pub. geol. Soc. S. Afr.*, 11, 431–515.
- PUHAN, D. und HOFFER, E. (1973): Phase relations of talc and tremolite in metamorphic calcite-dolomite sediments in the southern portion of the Damara-Belt (SW-Africa). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 40, 207–214.
- SCHALK, K. E. L. (1970): Some late precambrian formations in central South West Africa. *Ann. Geol. Surv. S. Afr.*, 8, 29–47.
- SCHUMACHER, E. (1975): Herstellung von $>99.9997\%$ ^{38}Ar für die $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ -Geochronologie. *Chimia* 29, 441–442.
- SEIFERT, N. L. (1986): Geochronologische Untersuchungen an Basement-Gesteinen am Südrand des Damara-Orogens, S. W. A./Namibia. Unveröffentlichte Dissertation Universität Bern, 126 pp.
- SEIFERT, N. L. und HURFORD, A. J. (in prep.): Fission track dating of zircons from basement rocks of the southern margin of the Damara-Orogen, S. W. A./Namibia.
- SOUTH AFRICAN COMMITTEE FOR STRATIGRAPHY (SACS): In: KENT, L. E. (Comp.): *The stratigraphy of South Africa – Part 1, Lithostratigraphy of the Republic of South Africa, South West Africa/Namibia and the Republics of Bophuthatswana, Transkei and Venda*. *Handb. geol. Surv. S. Afr.*, 8, 1980, 690 pp.
- STEIGER, R. H. und JÄGER, E. (1977): Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry. *Earth and Planetary Science Letters*, 36, 359–362.
- STRECKEISEN, A. (1981): Provisional remarks on chemical classifications. IUGS, Subc. Igneous Rocks, circ. no. 34, contr. no. 90.
- WATTERS, B. R. (1974): Stratigraphy, igneous petrology and evolution of the Sinclair Group in southern West Africa. *Bull. Precambr. Res. Unit, Univ. Cape Town*, 16, 235 pp.
- WEDEPOHL, K. H. (1969) (Exec. Ed.): *Handbook of geochemistry*. Vol. 1 + 2. Springer-Verlag, Berlin, 1969.
- WITTIG, R. (1976): Die Gamsberg-Spalten (SW-Afrika) – Zeugen Karoo-zeitlicher Erdbeben. *Geol. Rundschau*, 65/3, 1019–1034.
- YORK, D. (1969): Least squares fitting of a straight line with correlated errors. *Earth and Planetary Science Letters*, 5, 320–324.

Manuskript erhalten 5. Dezember 1986; überarbeitetes Manuskript angenommen 2. März 1987.