

11 Basite am NW-Rand des Kalahari-Kraton

Um die Entwicklung des Damara-Rifting zu untersuchen werden Basite aus der späten Sinclair Sequenz und den Formationen der Chuos und Kuiseb Formation der Damara Sequenz, Khomas Subgroup, analysiert.

Die Geochemiedaten von Basalten der späten Sinclair Sequenz am Gamsberg stammen aus einer am IDGL durchgeführten Diplomarbeit (KÜSTER, 1996). Nach KÜSTER (1996) ist der Typ A der Gamsbergamphibolite höher differenziert als der Typ B. Innerhalb des Typ A kann eine Gruppe mit T_{DM} -Altern um 2700Ma und eine Gruppe mit T_{DM} -Altern 1800Ma unterschieden werden. Für den Typ B liegt das T_{DM} -Alter bei 1700Ma.

Die Analysen der Chuos Formation und des Matchless Member (MM) der Kuiseb Formation sind von T. Vietor zur Verfügung gestellt worden.

Für den MM der Kuiseb Formation wird die Datenbasis mit Veröffentlichungen von SCHMIDT & WEDEPOHL (1983), MILLER (1983a) und KLEMD et al. (1989) erweitert.

Zur Überprüfung der Arbeit von NAGEL et al. (1996) sind Geochemiedaten von Amphiboliten aus dem Rostock Inlier in die Untersuchungen einbezogen worden. Diese Basite wurden bislang der Sinclair Sequenz zugeordnet (PFURR, 1990). Nach NAGEL et al. (1996) gehören diese Basite der Rehoboth Sequenz an. Die Geochemiedaten dieser Rostockamphibolite stammen aus dem DFG-Projekt WE-488/15.

Die Geochemiedaten und Probenlokationen sind im Anhang (Tabelle VII und VIII) aufgeführt.

11.1 Klassifikation der Basite

Auf Grund der epidot- bis amphibolitfaziellen Metamorphose werden zur Klassifikation der Gesteine geochemische Diskriminierungsanalysen benutzt.

Nach WINCHESTER & FLOYD (1977) Abb. 11-1 handelt es sich bei den Proben um Andesite, Basalte, subalkaline Basalte und untergeordnet Alkalibasalte.

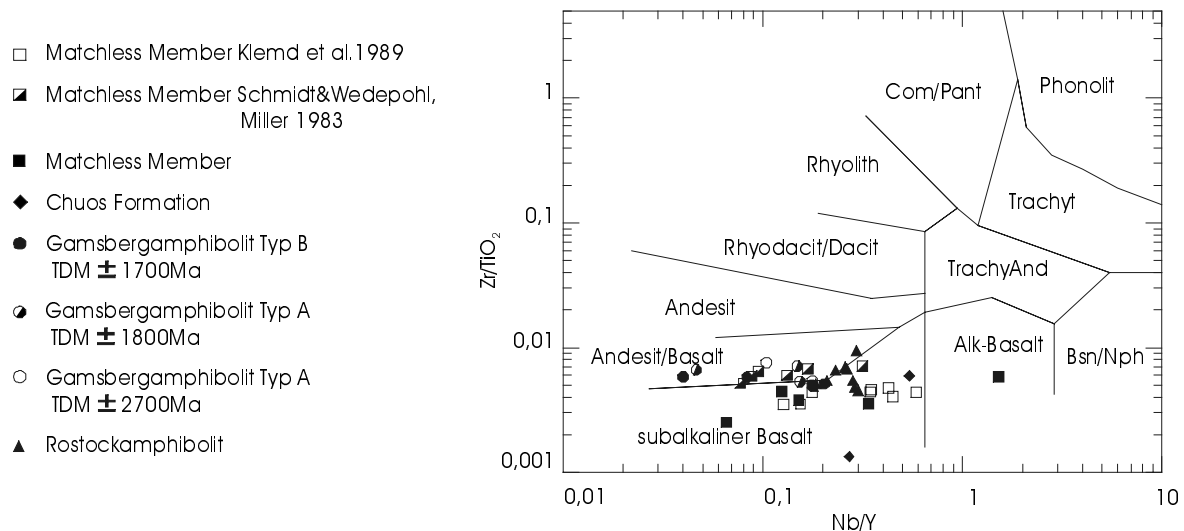


Abb. 11-1: WINCHESTER & FLOYD (1977)

Im TAS Diagramm nach COX et al. (1979; Abb. 11-2) liegen die Proben im subalkalinen Feld, so daß die auf subalkaline Gesteine beschränkten Diagramme nach JENSEN (1976; Abb. 11-3a) und IRVINE & BARAGAR (1971; Abb. 11-3b) angewendet werden können. Gemeinsam mit dem Alkalinitätsindex (A.I.) nach MIDDLEMOST (1971; Abb. 11-4) ergibt sich ein konsistentes Bild tholeiitischer Serien.

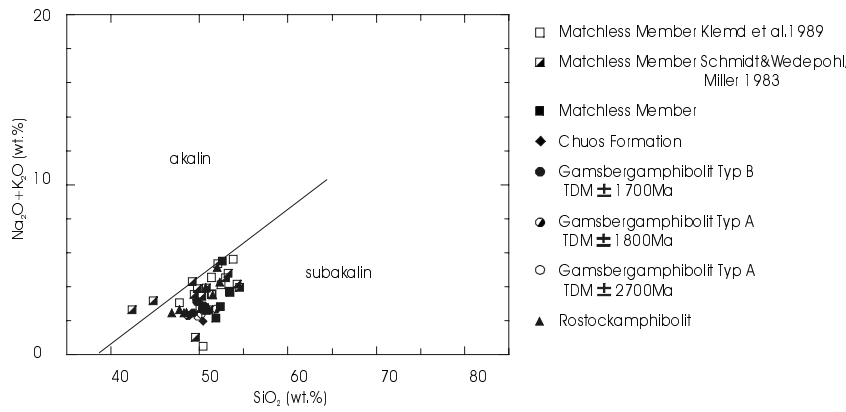


Abb. 11-2: TAS-Diagramm nach COX et al. (1979)

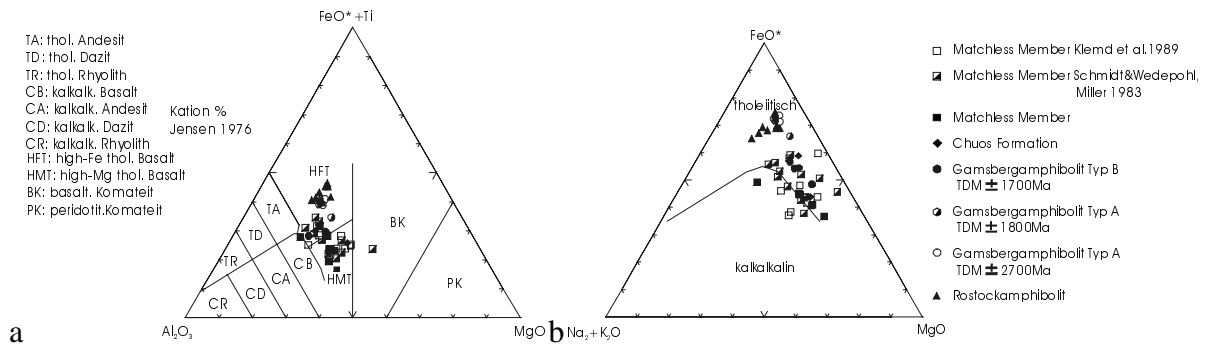


Abb. 11-3: JENSEN (1976); IRVINE & BARAGAR (1971)

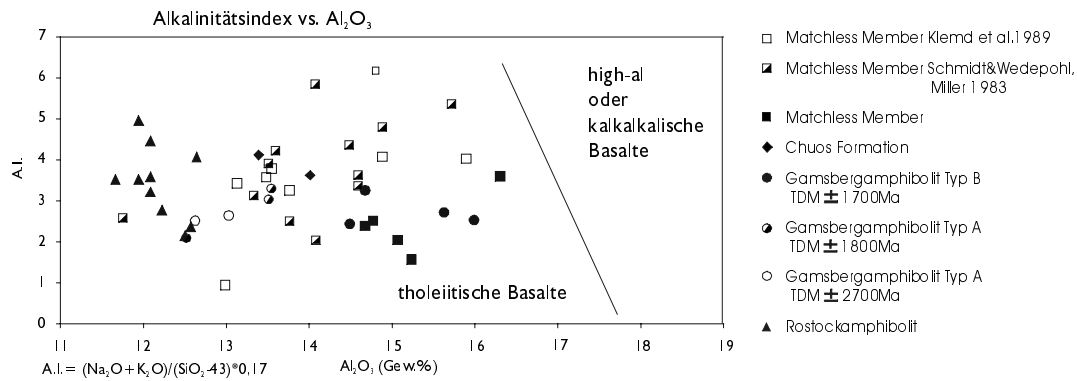


Abb. 11-4: Alkalinitätsindex vs. Al_2O_3 nach MIDDLEMOST (1971)

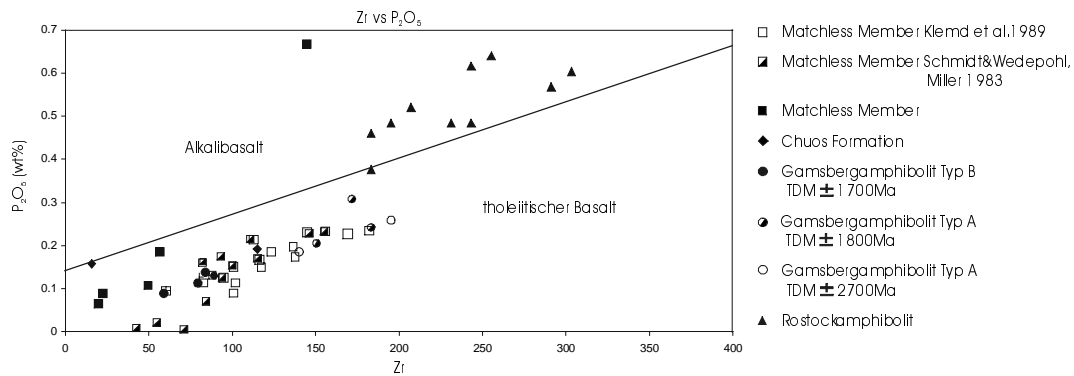


Abb. 11-5: WINCHESTER & FLOYD (1976)

Im Gegensatz dazu stellen nach WINCHESTER & FLOYD (1976; Abb. 11-5) die Rostockamphibolite Alkalibasalte dar.

MIYASHIRO & SHIDO (1975) benutzen zur Unterteilung die Verteilung von TiO_2 bzw. V gegen einen Fraktionierungsindex wie SiO_2 , Zr oder FeO/MgO . Bei positiver Steigung handelt es sich um eine tholeiitische Serie bei negativer um eine kalkalkalische, da es in kalkalkalischen Magmen mit größerer Sauerstoffugazität zur Bildung von Titanomagnetit kommt und deshalb der Wert für TiO_2 bei steigendem SiO_2 bzw. Zr-Gehalt abnimmt.

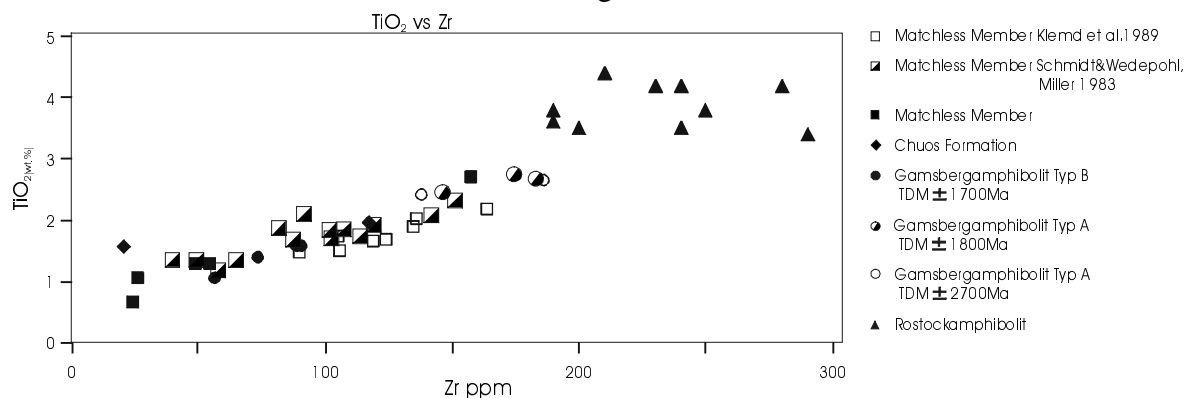


Abb. 11-6: MIYASHIRO & SHIDO (1975)

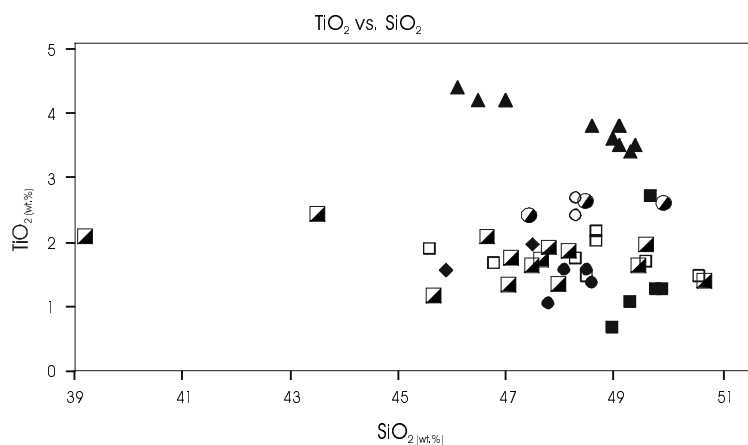


Abb. 11-7: MIYASHIRO & SHIDO (1975)

In Abb. 11-6 zeigen die Basite der Sinclair und Damara Sequenz eindeutig tholeiitisches Verhalten während die Rostockamphibolite sich in Abb. 11-7 als kalkalkalin darstellen.

Die Basite des Gamsbergs und Damara Sequenz sind einer tholeiitischen Serie zuzuordnen. Die Rostockamphibolite verhalten sich inkonsistent und streuen in Feldern für alkali, kalkalkaline wie auch tholeiitischer Basalte. Nach WILSON (1989) sind diese Amphibolite damit transitionale Basalte und wahrscheinlich in einem Riftereignis der Rehoboth Sequenz entstanden.

11.2 Tektono-magmatische Diskriminierungs-Diagramme

Tholeiitische Magmen sind in allen tektonischen Regimes in unterschiedlicher Häufigkeit vertreten und können keinem bestimmten Bildungsregime zugeordnet werden.

PEARCE et al. (1975) Abb. 11-8a unterscheiden mit Hilfe von K_2O , TiO_2 und P_2O_5 ozeanische von kontinentalen Basalten. Eine Metamorphose verschiebt die Probenpunkte nach PEARCE et al. (1975) in Richtung K, so daß Ozeanbasalte mit Sicherheit identifiziert werden können.

Nach HOLM (1985) Abb. 11-8b zeigt sich ein indifferentes Bild für die Entwicklung des Bildungsraumes für die Basite. Dies ist auf den abnehmenden Th-Gehalt zurückzuführen. Die Proben des Gamsbergamphiboliten der späten Sinclair Sequenz sind vorwiegend im

kontinentalen Bereich angesiedelt während Proben der Chuos Formation und des MM bereits ein initiales Rifting postulieren.

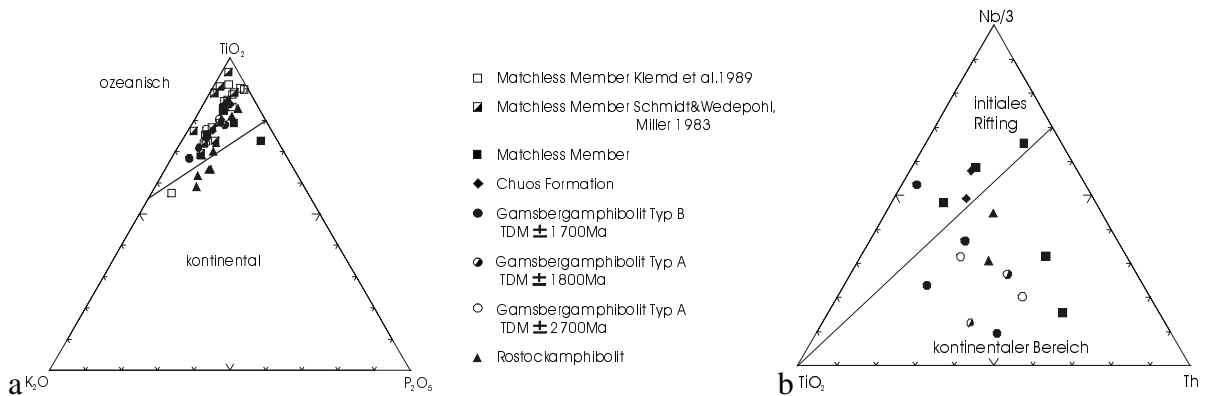


Abb. 11-8a+b: PEARCE et al. (1975), HOLM (1985)

Eine Genese der Basite als Plattenrandbasalte bestätigt die Darstellung nach PEARCE & GALE (1977).

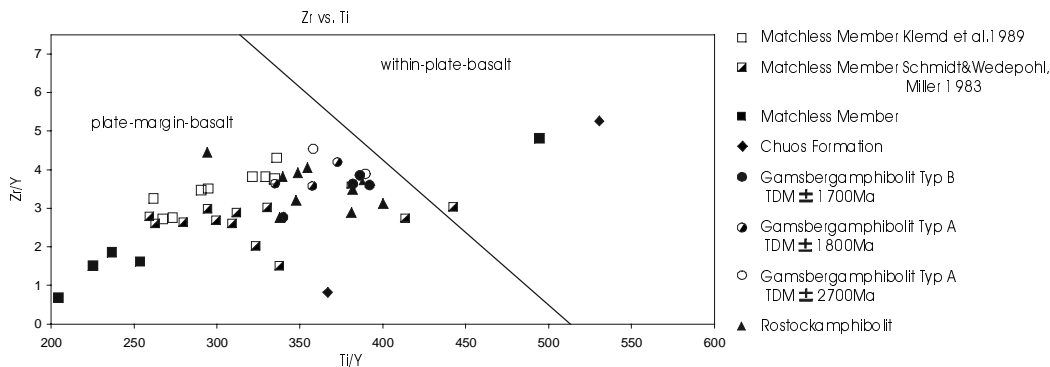


Abb. 11-9: PEARCE & GALE (1977)

Charakteristisch für den Bereich des initialen Rifting ist die Extensionsbewegung. SHERVAIS (1982) Abb. 11-10a unterscheidet mit Hilfe der hohen Sauerstoffugazität Inselbogentholeiite, welche hohe Gehalte von V bei sinkenden Ti-Gehalten zeigen, von Vulkaniten aus Extensionsregimen.

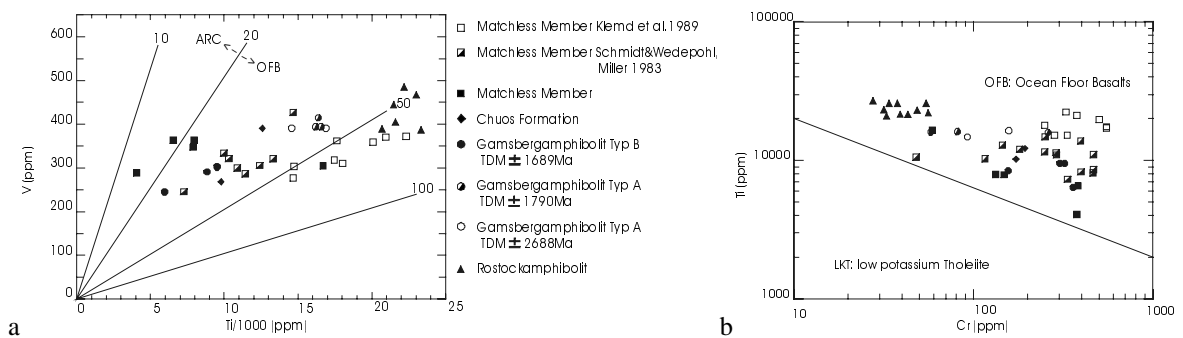


Abb. 11-10a+b: SHERVAIS (1982), PEARCE (1975)

Wenn auch vereinzelt Proben des MM im Feld für Bogenvulkanite (ARC) plotten, ist die Mehrheit der Basite nach SHERVAIS (1982) in einem Extensionsregime entstanden (OFB). Postkristalline hydrothermale Überprägungen können trotz der erhöhten Sauerstoffugazität keinen Einfluß auf die Basite ausgeübt haben.

Ähnlich arbeitet auch das Diagramm nach PEARCE et al. (1975) Abb. 11-10b, welches zu dem gleichen Ergebnis führt.

GILL (1981) unterscheidet mit dem La/Nb Verhältnis extensionale Basalte nach SHERVAIS (1982, Abb. 11-10a) mit Werten für $<1,5$ als nicht krustenkontaminiert von Basalten mit Werten größer als 1,5, welche er dem magmatischen Bogen zuordnet. Die Gamsbergamphibolite zeigen in ihrem La/Nb-Verhältnis den Einfluß von Krustenkontamination, während die Chuos und Kuiseb Formation mit La/Nb-Werten von unter 1,5 mantelbetont sind.

PEARCE & CANN (1973) Abb. 11-11a-c nutzen drei aufeinander aufbauende Diagramme zur Unterscheidung von ozeanischen Boden, Inselbogen und kontinentalen Bogen.

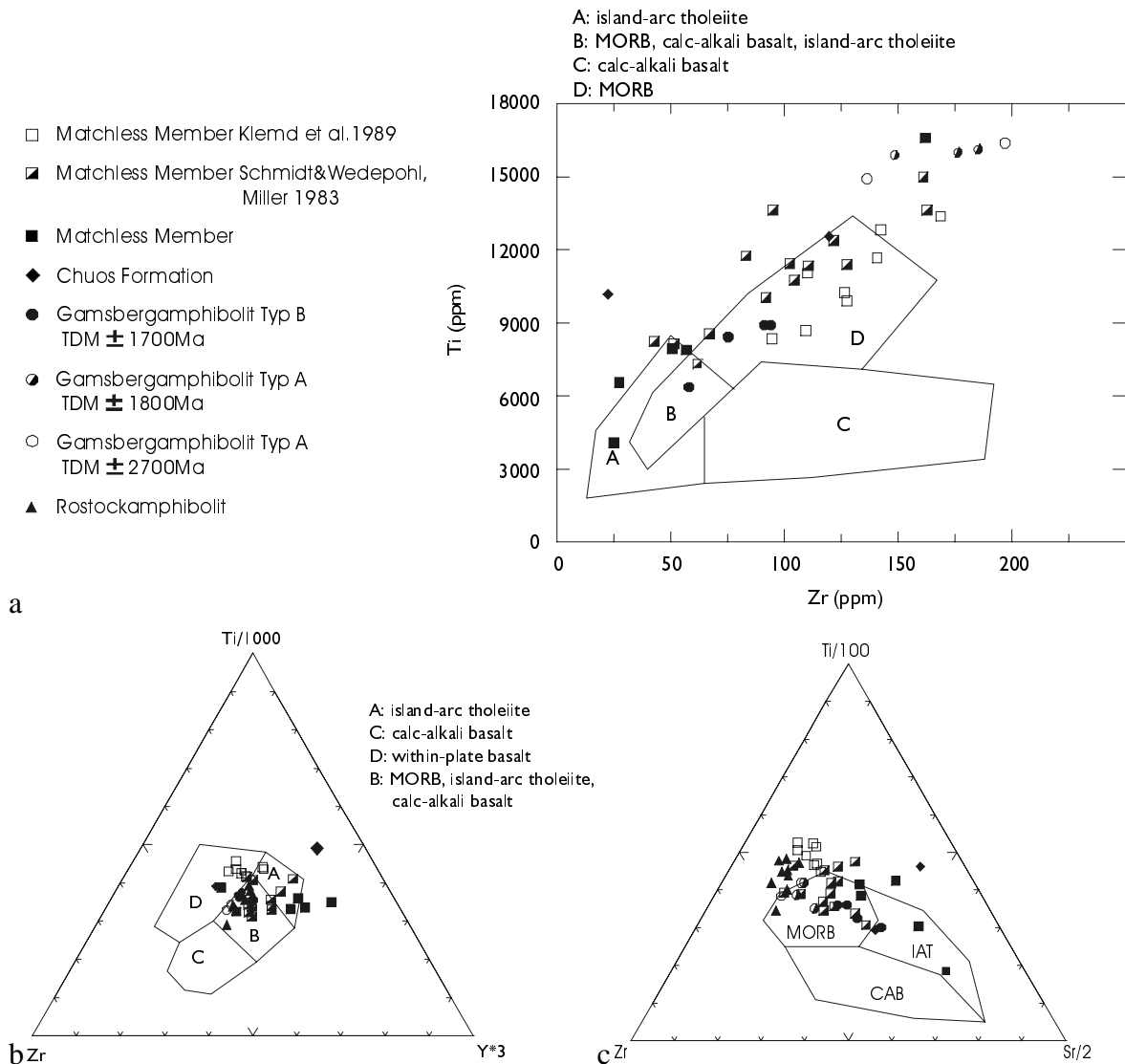


Abb. 11-11 a+b+c: PEARCE & CANN (1973)

Nach Abb. 11-11a+c ist eine Platznahme der Basalte als Ozeanboden gesichert. In Abb. 11-11b plotten die Proben vorwiegend in den Feldern A und D der Within-Plate-Basalts und Island-Arc-Basalts. Das Feld B in Abb. 11-11b stellt einen Übergangsbereich zwischen den Bildungsregimen dar und wird von den Rostock-, Gamsberg- wie auch den Matchless Amphiboliten belegt.

1982 entwickelt PEARCE (Abb. 11-12) diese Untersuchungsmethode fort indem er sich auf die Diskriminierung von Ti vs. Zr beschränkt. In Abb. 11-12 wird deutlich, daß die Proben auf einem gemeinsamen Differentiationstrend liegen. Die Streuung der Proben erstreckt sich über den Bereich des vulkanischen Bogens, den MORB und den within-plate-basalt.

Die eburnischen Proben des Rostock Inliers plotten etwas versetzt vom Trend der kibarischen bis panafrikanischen Basite und bilden eine Punktwolke aus.

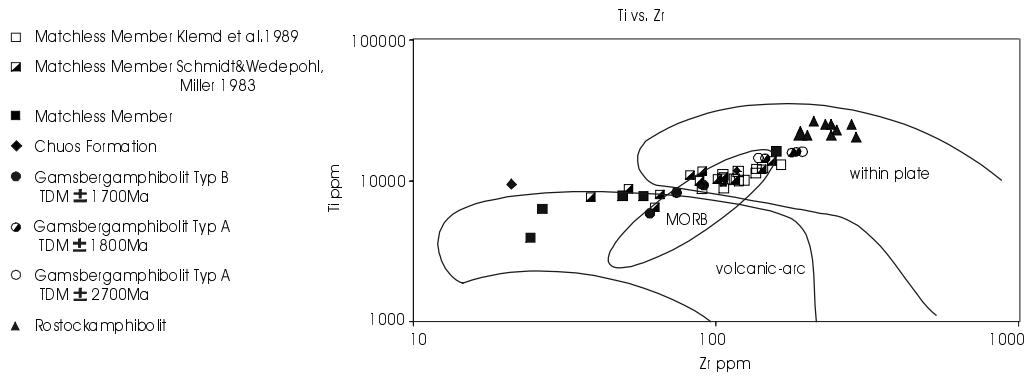


Abb. 11-12: PEARCE (1982)

Diese Problematik wird im Diagramm nach CABANIS & LECOLLE (1989) Abb. 11-13a noch deutlicher. Die Gamsbergamphibolite zeigen eine deutliche Affinität zum vulkanischen Inselbogen, liegen aber auch im Feld der kontinentalen Basalte. Die Proben der Chuos Formation und des MM liegen im Feld der Ozeanbasalte und zeigen N-MORB bis stark angereicherten E-MORB Charakter.

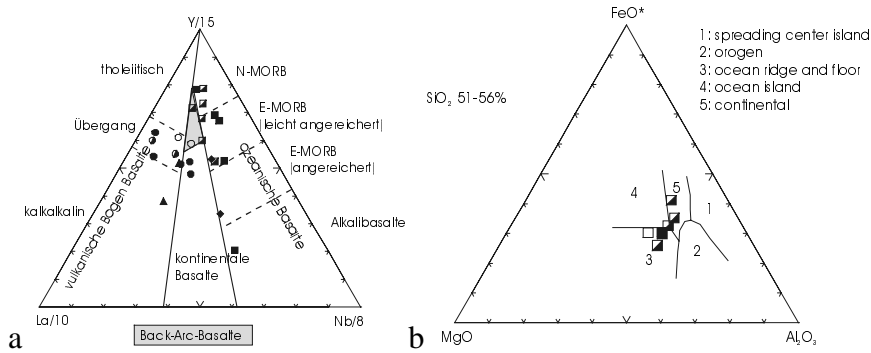


Abb. 11-13a+b: CABANIS & LECOLLE (1989), PEARCE et al. (1977)

Für SiO₂-Gehalte von 51-56% ist von PEARCE et al. (1977) ein Diagramm entwickelt worden (Abb. 11-13b). Diese Abbildung zeigt den Übergang des MM vom kontinentalen Stadium in das des Ozeanbodens.

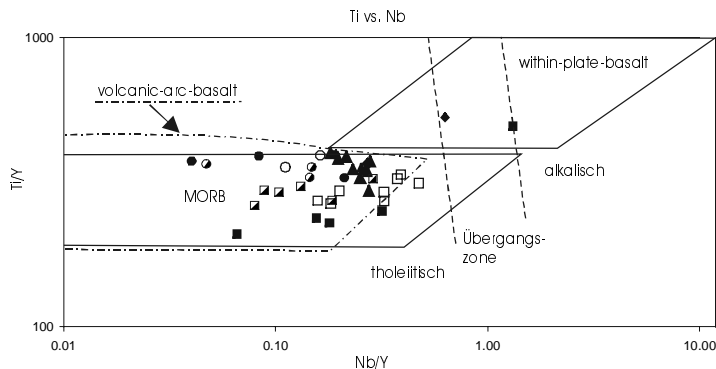


Abb. 11-14: PEARCE (1982)

PEARCE (1982) Abb. 11-14 normiert Ti und Nb mit Y und entwickelt so die Möglichkeit vulkanische Bogenbasalten (VAB) und MORB von Intraplattenbasalten abzugrenzen. Damit scheidet die Platznahme der Basite innerhalb eines anorogenen Ereignisses aus.

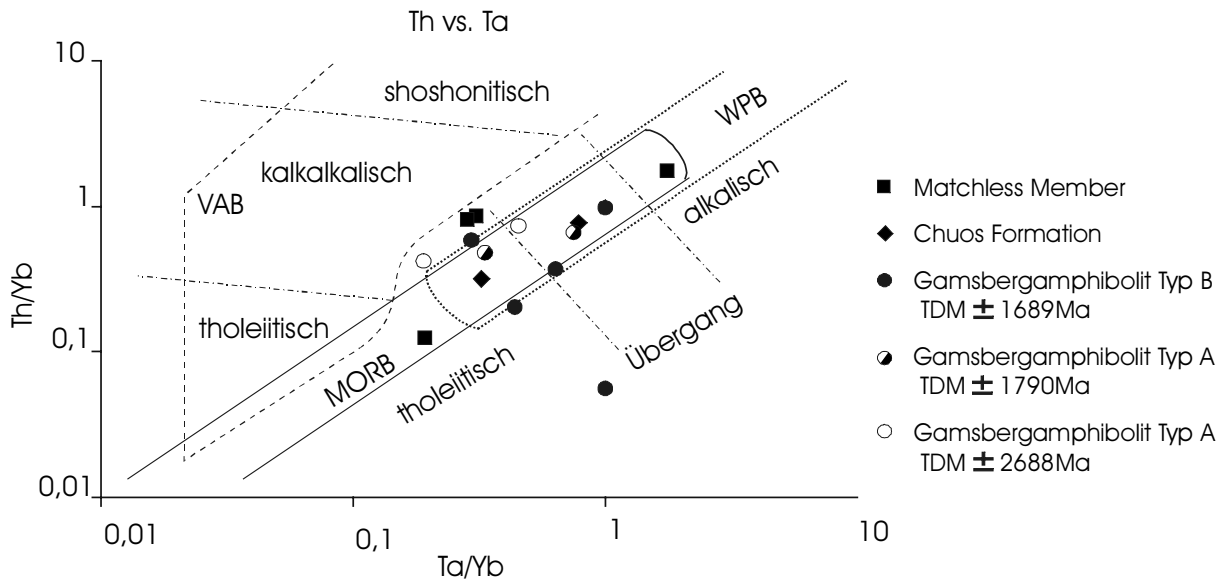


Abb. 11-15: PEARCE (1982)

Die Unterscheidung von VAB, MORB und WPB ergibt sich nach PEARCE (1982) mit der normierten Darstellung von K_2O vs. Ta, Ce vs. Ta und Th vs. Ta. Die drei Diagramme führen zu dem gleichen Ergebnis wovon letzteres in Abb. 11-15 dargestellt ist. In dieser Abbildung zeigt sich die Belegung des Übergangsbereiches von WPB zum MORB durch die Proben des Gamsbergamphiboliten, der Chuos Formation und des MM.

Nach PEARCE & NORRY (1979) sind die Proben des Gamsbergamphiboliten, der Chuos Formation und des MM vorwiegend im Feld für MORB angesiedelt (Abb. 11-16). Trends in das Feld für Inselbogen Vulkanite oder Intraplattenbasalte sind nicht signifikant.

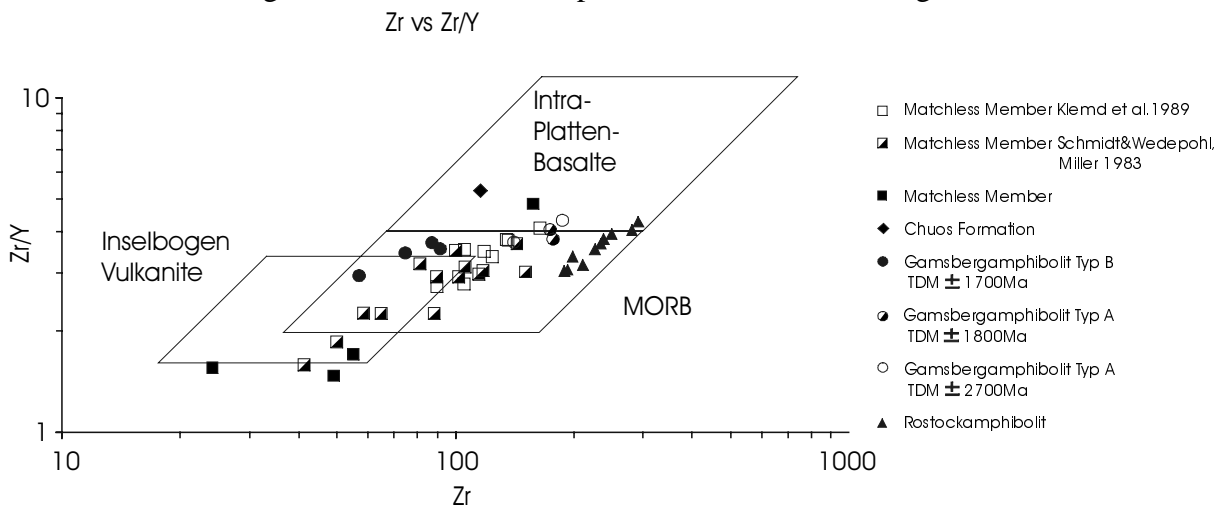


Abb. 11-16: PEARCE & NORRY (1979)

WILSON (1989) postuliert einen Mischungsvorgang des Tristan de Cunha Mantelplumes (OIB) mit den N-MORB des Südatlantik. Ergebnis dieses Vorganges sind die kontinentalen Flutbasalte des Paraná Beckens. Sollte dieser oder ein Manteldiapir/hotspot ähnlicher Zusammensetzung in die Entwicklung des Damara Riftings involviert sein, ist der Einfluß auf die Magmengengese während des Rifting unterschiedlich stark ausgeprägt (Abb. 11-17). Die Gamsbergamphibolite, die Proben der Chuos Formation und des MM zeigen einen differierenden Anteil von N-MORB, P-MORB und OIB des Tristan de Cunha hotspot.

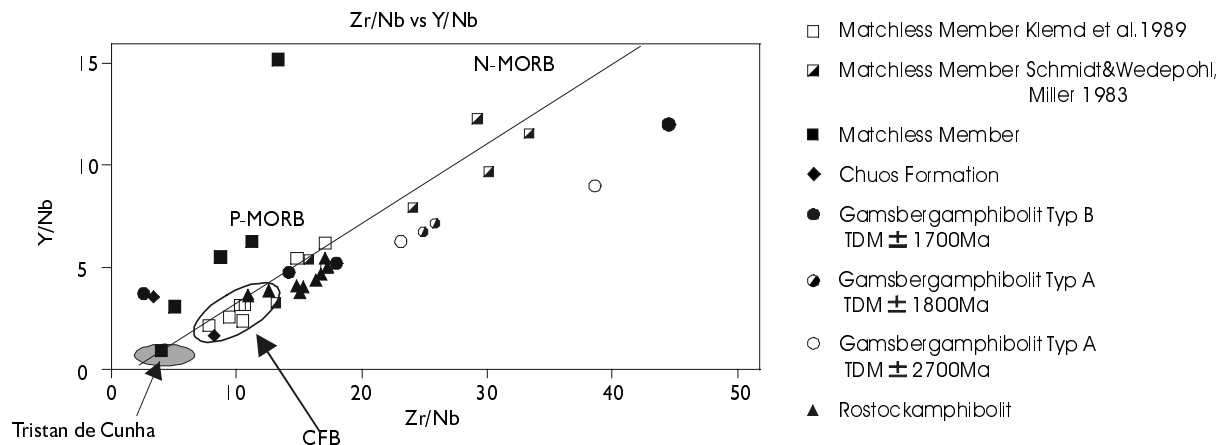


Abb. 11-17: WILSON (1989)

Nach CHAUVEL et al. (1995) findet sich ein deutlicher Hinweis auf Aufschmelzvorgänge in den Basalten. Da sich Pb in der Kruste im Gegensatz zu Ce anreichert steigt das Ce/Pb Verhältnis kontinuierlich mit jedem Fraktionierungszyklus im Mantel. Der Einfluß der Schmelzen zeigt sich in der Übereinstimmung der Isotopie von Mantelmaterial mit kontinentaler Kruste (MILLER et al., 1994). Nach CHAUVEL et al. (1995) ist auch eine hydrothermale Abfuhr des Pb der MORB in Sulfide und Oxide nicht auszuschließen. Die Proben ergeben eine Zuordnung in die Sippe der Inselbogen Vulkanite (Abb. 11-18). Dieses Diagramm ist sowohl für tholeiitische wie auch kalkalkalische Gesteine geeignet. Nur fünf der Proben lassen auf einen weniger starken Einfluß der Fraktionierung von MORB oder OIB schließen. Diese Diskriminierung arbeitet mit der kontinuierlichen Fraktionierung in geologischen Zeiträumen und ist mit dieser eindeutigen Zuordnung zu den Inselbogen vulkaniten um so zwingender, als es sich um proterozoisches Material handelt, welches nicht signifikant im Pb-Gehalt angereichert sein muß.

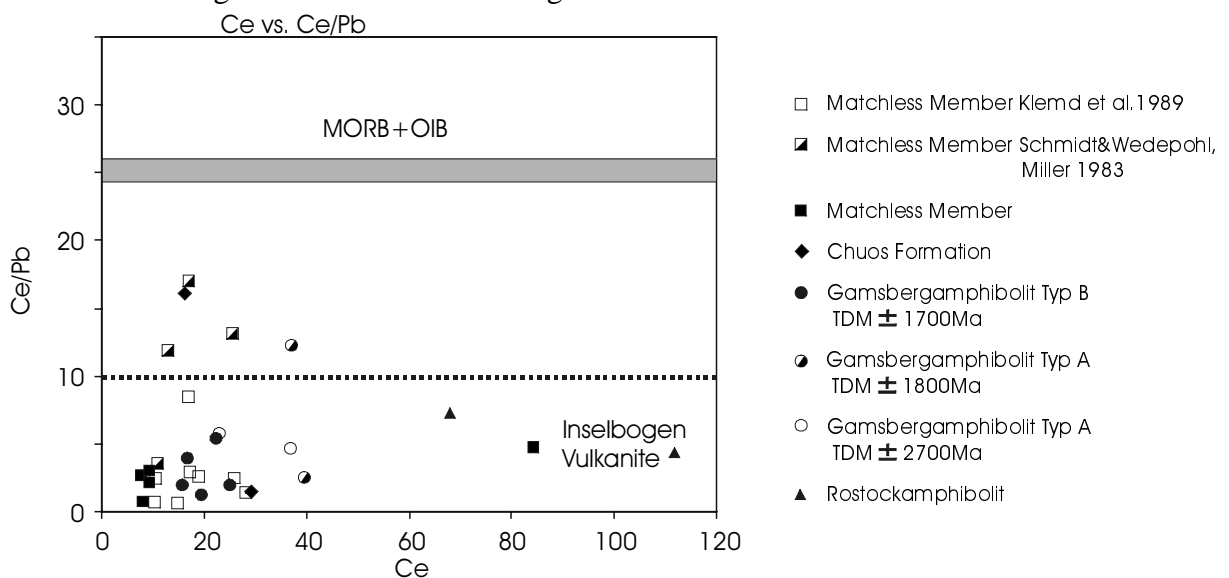


Abb. 11-18: CHAUVEL et al. (1995)

11.3 Isotopengeochemie

Am Rb/Sr- und Sm/Nd-System der Gamsbergamphibolite, den Basiten der Chuos Formation und des MM der Kuiseb Formation sind isotopengeochemische Untersuchungen durchgeführt worden.

In Abb. 11-19 ist das $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis der Proben dargestellt. In die Darstellung aufgenommen sind die rezenten Werte für den abgereicherten Mantel (DM) der typische MORB Isotopen aufweist, der PREvalent Mantle (PREMA) nach ZINDLER & HART (1986) mit häufigen Isotopen von Ozeaninseln, ozeanischen Inselbögen und kontinentalen Basalten mit $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ -Werten von etwa 0,513 und $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werten von etwa 0,7033 und der Bulk Silicate Earth (BSE) mit der Isotopie des primitiven Mantels. Diese Suiten liegen innerhalb der isotopischen Entwicklungslinie der Mantelzusammensetzung. Der angereicherte Mantel (Enriched Mantel, EM) zeichnet sich durch niedrige $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ -Verhältnisse und hohe $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnisse aus. Nach ZINDLER & HART (1986) zeigt der EMI erheblich niedrigere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse als der EMII.

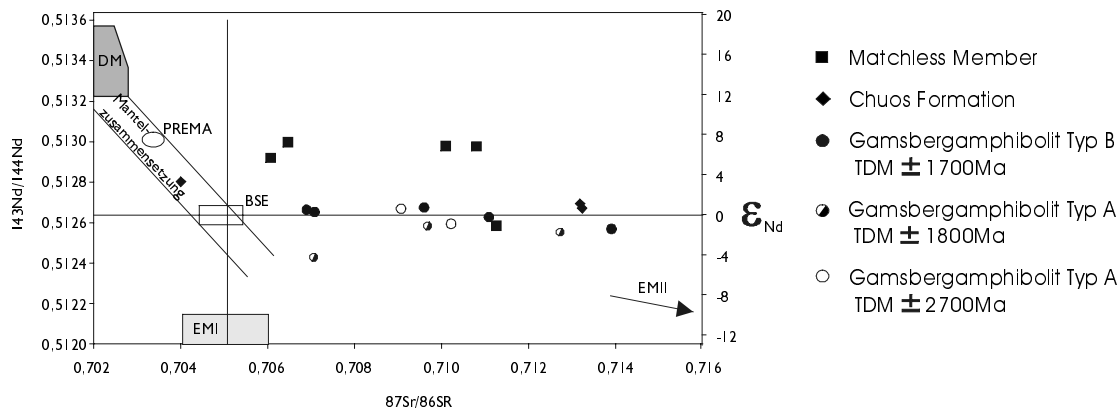


Abb. 11-19: $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis

Mit der Abb. 11-19 wird die von SEIFERT (1986) im Bereich des Gamsbergs nachgewiesene Störung des Sr-Systems im Gesamtgestein bestätigt. Bei den Proben der Chuos Formation und des MM treten ähnlich durchgreifende Störungen des Sr-Systems auf. Bis auf Probe Omunjereke der Chuos Formation sind alle Proben im Sr-System so stark gestört, daß eine Quell- oder Entwicklungsgeschichte in Kombination von Sr- und Nd-Isotopie den Proben nicht zuzuordnen ist. Bezogen auf die Nd-Daten entsprechen die Isotopen der Gamsbergamphibolite einem primitiven Mantel. Bei einem Teil der Proben ist eine Krustenkomponente beteiligt. Die Basite der Chuos Formation sind schwach abgereichert. Die Basite des MM entsprechen in der Nd-Isotopie in der Mehrzahl einem E-MORB. Die Probe des MM von Farm Orumbungu zeigt hingegen einen deutlichen kontinentalen Einfluß mit einem negativen ϵ_{Nd} -Wert.

HOFMANN (1997) Abb. 11-20 unterscheidet mit Hilfe des Nb/U-Verhältnis OIB und MORB mit Werten zwischen 40-60 und positiven ϵ_{Nd} -Werten von krustenbeeinflusstem IAB mit niedrigen Nb/U-Verhältnissen und geringeren ϵ_{Nd} -Werten. Nb, Ta und Ce sind wegen ihrer geringen Löslichkeit in der fluiden Phase gegenüber dem Uran in der Kruste abgereichert.

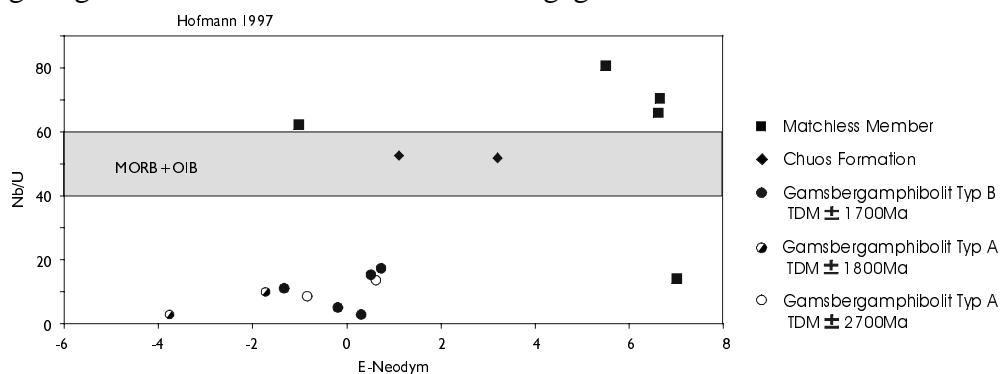


Abb. 11-20: HOFMANN (1997)

Die Gamsbergamphibolite sind mit den niedrigen Nb/U-Verhältnissen und einem Trend zu negativen ϵ_{Nd} -Werten deutlich krustenbeeinflusst, während der MM mit hohen Verhältnissen und positiven ϵ_{Nd} -Werten der Signatur eines MORB entspricht. Abweichungen stellen Probe Orumbungu mit einem negativen ϵ -Neodym und Probe Mecklenburg mit einem geringen Nb/U Wert dar. Die Basite der Chuos Formation zeigen hohe Nb/U Verhältnisse von etwa 50 und liegen mit positiven ϵ_{Nd} -Werten im MORB Bereich. Da sich Nb und Ta chemisch sehr ähnlich sind, ergibt sich für die Verhältnisse von Ta/U vs. ϵ_{Nd} eine im Trend identische Abbildung (hier nicht dargestellt).

11.4 Verhältnisse inkompatibler Spurenelemente

Der Vorgang eines sich öffnenden Rift und der zunehmende Einfluß von primitivem Mantelmaterial wird durch die Mg-Zahl bestätigt. Der Differentiationsindex ermittelt sich nach

$$\text{Mg-Zahl} = 100 \times (\text{Mg} / [\text{Mg} + \text{Fe}]).$$

Die fortschreitende Öffnung des Rift setzt mit den Gamsbergamphiboliten mit Werten um die 25 ein (Abb. 11-21). Die stetig steigende Mg-Zahl wächst von den Basiten der frühen Chuos und Kuiseb Formation mit Werten zwischen 30 bis 50, bis zu einer Mg-Zahl von mehr als 50 wie bei der Probe von Farm Otjikundua.

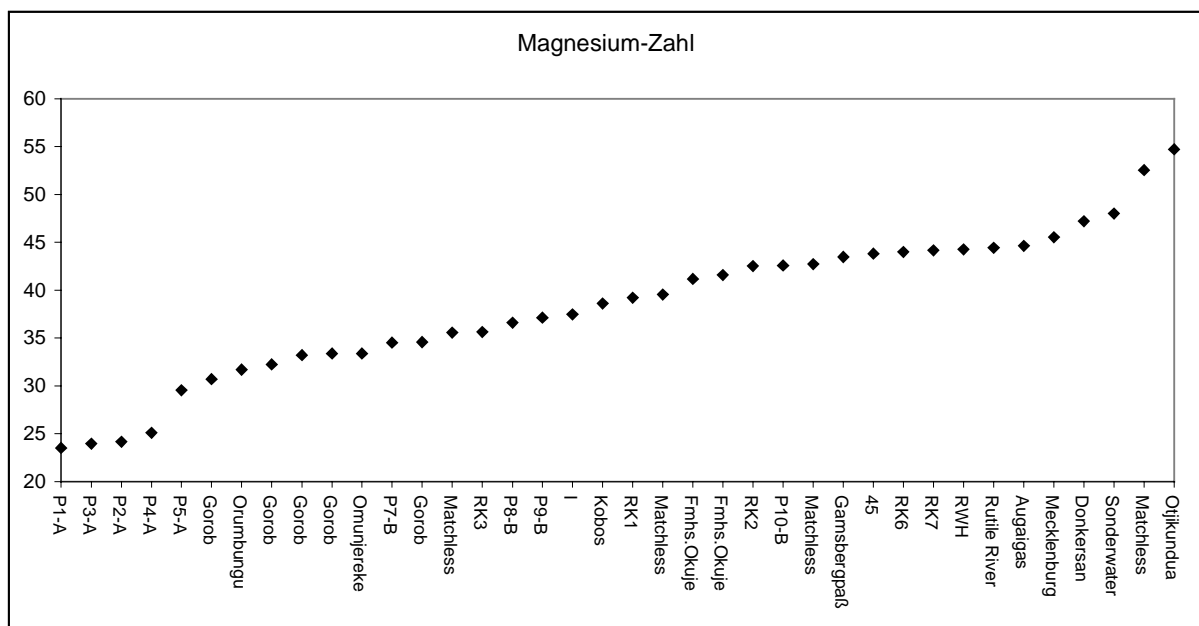


Abb. 11-21: Differentiationsindizes vom Gamsbergamphibolit bis zum Matchless Amphibolit am NW Rand des Kalahari Kratons

11.5 Das tektonische Regime der späten Sinclair Amphibolite und der Basite der Damara Sequenz

An Hand von mehreren mit unterschiedlichen Methoden arbeitenden Diskriminierungsdiagrammen (Abb. 11-2-Abb. 11-7) zeigen die Amphibolite der späten Sinclair Sequenz am Gamsberg und die Basite der Damara Sequenz konsistent eine tholeiitische Entwicklung.

Die Amphibolite des Rostock Inlier gehören im Gegensatz dazu in Abhängigkeit von den zur Diskriminierung benutzten Elementen alkalischen bis kalkalkalinen Entwicklungslinien an

(Abb. 11-2-Abb. 11-7). Nach WILSON (1989) ist dieses inkonsistente Verhalten der Rostockamphibolite für transitionale Basite in Riftbereichen typisch.

In Abb. 11-8 bis Abb. 11-12 kann die Platznahme der Basite in dem Extensionsregime am Plattenrand eines sich öffnenden Ozeans nachgewiesen werden. Abb. 11-8b (HOLM, 1985) und Abb. 11-12 (PEARCE, 1982) verdeutlichen die Entwicklungstrends der Basite.

Für die Gamsbergamphibolite wird eine Platznahme unter erheblichem kontinentalen Einfluß deutlich. Die jüngeren Basite der Chuos Formation und der Kuiseb Formation sind im chemischen Verhalten von Riftprozessen beeinflusst.

Für Proben der Chuos und der Kuiseb Formation, welche von den Trends abweichen, wird eine Wechselwirkung der intrudierenden Magmen mit dem Sediment oder eine Veränderung in der Magmenquelle postuliert.

Die Beteiligung von MORB-, IAT- und CAB-Komponenten an der Bildung der Basite zeigt sich in Abb. 11-11b (PEARCE & CANN, 1973). Die Proben plotten in diesem Diagramm vorwiegend in dem Feld B für MORB, IAT und CAB und belegen die umgebenden Bereiche für WPB und IAT. Das Feld der CAB als Indikator für Subduktionsvorgänge wird ausgespart.

In Abb. 11-13a (CABANIS & LECOLLE, 1989) streuen die Proben der Gamsbergamphibolite im Bereich der VAB bis in den Bereich der kontinentalen Platznahme. Die Proben der Chuos und der Kuiseb Formation liegen im Feld für N- bis P-MORB nahe dem Feld der kontinentalen Platznahme. Die Lage der Gamsbergamphibolite widerspricht den bisherigen Ergebnissen und ist in Verbindung mit dem Modell von HOAL (1990) zu erklären, in welchem der Autor das Underplating und die damit verbundene Aufschmelzung älterer bereits subduzierter Einheiten für die Sinclair Sequenz postuliert. In einem frühen Stadium des Rifting werden bei mangelnder Zufuhr von juvenilem Mantelmaterial die Signaturen subduktionsgeprägter Gesteine assimiliert. Diese chemischen Signaturen können so frühe Produkte des Rifting prägen.

In Abb. 11-13b (PEARCE et al., 1977) zeigen die Proben des MM die Entwicklung vom kontinentalen bis in den Bereich des Ozeanrückens und -bodens.

Eine abschließende Unterscheidung mit Hilfe von Haupt- und Spurenelementen ergibt sich an Hand der Abb. 11-14 - Abb. 11-16. Nach PEARCE (1982) Abb. 11-14 plotten die Basite in den sich überlagernden Feldern der VAB und der MORB. Diese können mit Abb. 11-15 (PEARCE, 1982) eindeutig voneinander getrennt und dem Übergangsbereich von MORB und WPB zugeordnet werden. Mit der Diskriminierung nach PEARCE & NORRY (1979) Abb. 11-16 ist eine Platznahme für die Basite als MORB zweifelsfrei nachgewiesen.

Initiale Auslöser für Riftprozesse können großräumige Vorgänge der Plattentektonik sein. WILSON (1989) stellt einen Zusammenhang zwischen den Hotspot induzierten OIB des Tristan de Cunha und den CFB des südamerikanischen Paraná-Beckens her, indem sie die Abkunft der Flutbasalte aus einer Mischung von N-MORB und OIB-Komponenten des Hotspot postuliert. Auch wenn dieser rezente Hotspot nicht Auslöser für das Damara Rifting gewesen sein muß, stellen die Basite der Damara Sequenz Mischungsprodukte der OIB-Komponente und N-MORB dar.

Einen Hinweis für die Inkorporation von älterem Krustenmaterial aus vorhergehenden Subduktionsvorgängen ergibt sich aus dem Diagramm nach CHAUVEL et al. (1995) Abb. 11-18.

Für die Isotopen der Basite wird für das Rb/Sr-System, wie von SEIFERT (1986) in der Gamsbergregion festgestellt, eine völlige Neueinstellung aller beprobten Formationen postuliert.

Die Nd-Isotopen zeigen die Entwicklung von frühen Riftbasiten der späten Sinclair Sequenz mit leicht positiven bis leicht negativen ϵ_{ND} -Werten, über die Chuos Amphibolite mit ausschließlich leicht negativem ϵ_{ND} , zu den deutlich negativen ϵ_{ND} -Werten des MM. Die

Probe Orumbungu aus dem MM zeigt mit dem positiven ϵ_{ND} -Wert einen erheblichen Krusteneinfluß. Dies bestätigt sich auch in den SEE (Kapitel 10). Mit dem Anstieg von leicht positiven bis hin zu eindeutig negativen ϵ_{ND} -Wert zeigt sich der abnehmende Krusteneinfluß und der steigende Mantelanteil in den Basiten. Dies entspricht der idealen Anordnung eines sich entwickelnden Rift (STERN et al., 1990).

HOFMANN (1997) Abb. 11-20 bestätigt diesen Befund mit der Darstellung von Nb/U-Verhältnissen vs. ϵ_{ND} -Werte und weist für die Probe des MM von Farm Mecklenburg trotz des hohen positiven ϵ_{ND} -Wert den Einfluß von subduktionsgenerierten Magmen nach. Dies deutet auf einen Wechsel der Magmenquelle hin oder auf Wechselwirkungen mit den vom Amphibolit intrudierten sedimentären Einheiten.