
BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Reihe A/Band 12

Emanuel Pluhar

Die Geochemie von Monaziten aus Thailand
und ihre Anwendung bei der Prospektion von Zinnerzen



Berlin 1979

Verlag von Dietrich Reimer in Berlin

BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Reihe A: Geologie und Paläontologie · Reihe B: Geophysik · Reihe C: Kartographie

D 188

Herausgegeben von geowissenschaftlichen Instituten
der Freien und der Technischen Universität Berlin
und der Technischen Fachhochschule Berlin

Schriftleitung:
Dr. G. Pöhlmann (TFH), Dr. J. Pohlmann (FU)
Dr. H. Seyfried (TU)

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren allein verantwortlich

© 1979 by DIETRICH REIMER VERLAG IN BERLIN

Berliner geowiss. Abh.	(A)	12	59 S.	14 Abb., 5 Taf., 19 Tab.	Berlin 1979
------------------------	-----	----	-------	--------------------------	-------------

Emanuel Pluhar

Die Geochemie von Monaziten aus Thailand
und ihre Anwendung bei der Prospektion von Zinnerzen



1979

Verlag von Dietrich Reimer in Berlin

DIE GEOCHEMIE VON
MONAZITEN AUS THAILAND
UND IHRE ANWENDUNG BEI DER
PROSPEKTION VON ZINNERZEN⁺

von

Emanuel Pluhar⁺⁺

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Ermittlung von geochemischen Indizien der Monazite aus Zinnerzen und aus Graniten in Thailand, unter besonderer Berücksichtigung der wirtschaftlich wichtigen imprägnativen Zinnvererzungen und Greisen, und zur Klärung der genetischen Beziehungen zwischen Zinnvererzungen und Graniten im Thai-Malaya Orogen, wurden in 192 akzessorischen und detritischen Monaziten die Verteilungen von geochemischen Indizien $La+Ce+Pr^1$ (Atom.-%) und $Ce/(Nd+Y)$ (Atomquotient) und von Th und Ca untersucht.

Folgende Typen der thailändischen Zinnlagerstätten und Granite wurden berücksichtigt:

Zinnlagerstätten:

- | | |
|---------------------------|--|
| a) primäre Lagerstätten | <ul style="list-style-type: none"> - imprägnative Zinnvererzungen ("disseminated cassiterite deposits") - Greisen - Sn-Pegmatite - Li-Sn-Pegmatite - Nb-Ta-Sn-Pegmatite |
| b) sekundäre Lagerstätten | <ul style="list-style-type: none"> - alluv. und eluv. Seifen - marine Seifen |

Granite:

- | | |
|-------------------|---|
| a) Zinngranite | <ul style="list-style-type: none"> - Muskovit-Granit - Turmalin-Granit |
| b) Biotit-Granite | <ul style="list-style-type: none"> - Biotit-Granit aus Ranong (mittelkörnig porphyrisch) - Biotit-Granit aus Chiang Mai (grobkörnig porphyrisch) - Biotit-Hornblende-Granit aus Phuket |

1) Sigma-Index (MURATA 1953)

⁺ Dissertation an der FU Berlin

⁺⁺ Anschrift des Verfassers: Emanuel Pluhar, Institut für Geologie der Freien Universität Berlin, 1000 Berlin 33, Altensteinstr. 34 a

Die Probenahme erfolgte in drei Gelände-Campagnen (1976, 1977 und 1978) in den wichtigsten thailändischen Zinnbergbau-Distrikten in den Provinzen Phuket, Phang Nga und Ranong in Süd-Thailand. Einzelproben von akzessorischen Monaziten wurden gewonnen in der Provinz Chiang Mai in Nord-Thailand aus grobkörnigen porphyrischem Biotit-Granit.

Die mikroanalytischen Hauptelementbestimmungen der Seltenen Erden (Lanthaniden + Yttrium) wurden durchgeführt mit der Mikrosonde ARL EMX und erfaßten Elemente La, Ce, Pr, Nd, Sm, Dy und Y.

Die Datenauswertung unter Verwendung von EDV erbrachte folgende Ergebnisse:

Nach der Höhe und Variationsspannen von geochemischen Indizes La+Ce+Pr bzw. Ce/(Nd+Y) in akzessorischen Monaziten aus Thailand wird zwischen magmatischen und postmagmatischen Monaziten unterschieden.

Die Monazite der magmatischen Generation weisen einen Durchschnittswert (\bar{x}) von La+Ce+Pr von 73,9 Atom.-% und eine Variationsspanne ($\bar{x} \pm 2s$) von 69,5 bis 78,3 Atom.-% auf.

Die Monazite der postmagmatischen Generation zeigen einen Durchschnittswert (\bar{x}) von La+Ce+Pr von 66,5 Atom.-% und eine Variationsspanne von 63,0 bis 69,9 Atom.-%.

Das Auftreten von magmatischen und postmagmatischen Monaziten ist typomorph für imprägnative Zinnvererzungen und Greisen wie auch für Muskovit- und Turmalin-Granite.

Die magmatischen Monazite aus Nb-Ta-Sn-Pegmatiten weisen die höchsten La+Ce+Pr-Werte von 76,5 bis 90,5 Atom.-% bzw. die höchsten Ce/(Nd+Y)-Werte von allen Monaziten aus Thailand auf. Diese Werte sind in Bezug auf Granitpegmatite geochemisch inkongruent und deuten auf ihre Entstehung aus basischem Ausgangsmaterial hin. Die Monazitführung in Nb-Ta-Sn-Pegmatiten ist niedriger als in Li-Sn-Pegmatiten.

In Sn- und Li-Sn-Pegmatiten treten überwiegend Monazite der magmatischen Generation auf, die den magmatischen Monaziten aus Graniten entsprechen.

Die Durchschnittswerte (\bar{x}) und Variationsspannen ($\bar{x} \pm 2s$) von La+Ce+Pr bzw. von Ce/(Nd+Y) in magmatischen Monaziten aus Muskovit- und Turmalin-Graniten von 74,7 Atom.-% und von 71,3 bis 78,1 Atom.-% bzw. von 2,50 und von 2,24 bis 2,76 und aus pneumatolytischen Zinnerzen stimmen weitgehend mit denen der Monazite aus mittelkörnigem porphyrischem Biotit-Granit aus Ranong überein (74,5 und 70,1-78,9 Atom.-% La+Ce+Pr bzw. 2,28 und 1,86-2,70 Ce/(Nd+Y)). Sie unterscheiden sich aber in Durchschnittswerten und Variationsspannen von La+Ce+Pr bzw. Ce/(Nd+Y) in Monaziten aus grobkörnigem porphyrischem Biotit-Granit aus Chiang Mai (71,2 und 67,0-75,4 Atom.-% La+Ce+Pr bzw. 1,87 und 1,45-2,29 Ce/(Nd+Y) und in Monaziten aus Biotit-Hornblende-Granit aus Phuket (72,9 und 68,3-77,5 Atom.-% La+Ce+Pr bzw. 2,02 und 1,44-2,60 Ce/(Nd+Y)).

Eine enge genetische Beziehung zwischen mittelkörnigem porphyrischem Biotit-Granit aus Ranong und den als zinnführend bekannten Muskovit- und Turmalin-Graniten wird daher angenommen. Es erscheint wahrscheinlich, daß der Biotit-Granit aus Ranong als Ausgangsgestein zur Bildung von Muskovit- und Turmalin-Graniten, bzw. der Zinnvererzungen infrage kommt.

Anhand der relativ hohen Werte von geochemischen Indizes in Monaziten aus Biotit-Granit aus Ranong wird eine genetische Beziehung zu Nb-Ta-Sn-Pegmatiten mit Monaziten mit extrem hohen La+Ce+Pr bzw. Ce/(Nd+Y)-Werten antizipiert und auf die Möglichkeit einer "magmatistischen" Entstehung von Zinngraniten und Zinnvererzungen in Südostasien aus dem Mantel-Material hingewiesen.

Die Verteilung von Th und Ca in akzessorischen Monaziten aus Zinnerzen und aus Graniten in Thailand zeigt, daß diese Elemente gegenüber den Elementen der Seltenen Erden eine begrenzte geochemische Signifikanz besitzen. Die Th-Werte in Monaziten aus thailändischen Zinngraniten liegen im Durchschnitt unter 5,1 Gew.-% und stimmen daher mit Th-Werten in Monaziten aus Zinngraniten anderer Zinnprovinzen überein. Im Bereich der pneumatolytischen Zinnerze lassen sich Zinnerze mit Th- und Ca-armen ($Th < 5\%$, $Ca < 1\%$) und Th- und Ca-reichen ($Th > 5\%$, $Ca > 1\%$) Monaziten unterscheiden. Die Konzentrationsspannen von Th und Ca in akzessorischen Monaziten aus Zinnerzen und sogenannten zinnfreien Graniten weisen jedoch zahlreiche Überlappungen auf.

Die Anwendung von Monaziten als geochemische Indikatoren der wirtschaftlich wichtigen imprägnativen Zinnvererzungen und Greisen bzw. der als zinnführend bekannten Muskovit- und Turmalin-Graniten ist durch das typomorphe Auftreten von postmagmatischen Monaziten möglich und wurde durch geochemische Prospektionstests an detritischen Monaziten aus Fluß- und Strandablagerungen in der näheren und weiteren Umgebung der imprägnativen Zinnlagerstätten und der Greisenlagerstätten verifiziert.

SUMMARY

Microprobe determinations of geochemical indices $La+Ce+Pr$ ¹⁾ (atom.-%) and atomic ratio $Ce/(Nd+Y)$ and of thorium and calcium contents have been carried out in 192 samples of accessory and detrital monazites from Thailand in order to establish geochemical criteria for application of monazites as indicators for tin ore prospecting and tin-bearing granites.

Monazites from following types of tin ore deposits and granites have been studied:

tin deposits:

- a) primary deposits
 - disseminated cassiterite deposits
 - greisen deposits
 - Sn-pegmatites
 - Li-Sn-pegmatites
 - Nb-Ta-Sn-pegmatites
- b) secondary deposits
 - alluv. and eluv. placer
 - offshore placer

granites:

- a) tin-bearing granites
 - muscovite granites
 - tourmaline granites
- b) biotite granites
 - biotite granite from Ranong (medium grained porphyritic)
 - biotite granite from Chiang Mai (coarse grained porphyritic)
 - biotite hornblende granite from Phuket

The most important geochemical results are as following:

Distribution functions of $La+Ce+Pr$ indicated three main types of monazites:

--- magmatic monazites characterized by arith. mean of 73,9 atomic percent and by variation range ($\bar{x} \pm 2s$) from 69,5 to 78,3 atomic percent $La+Ce+Pr$.

--- postmagmatic monazites characterized by arith. mean of 66,5 atomic percent and by variation range ($\bar{x} \pm 2s$) from 63,0 to 69,9 atomic percent $La+Ce+Pr$.

Both types of monazites occur associated in disseminated cassiterite deposits, in greisen deposits and in tin-bearing muscovite and tourmaline granites.

Therefore, the occurrence of both types of monazites or only of postmagmatic monazites in heavy minerals concentrates from stream sediments can be used to allocate disseminated cassiterite and greisen mineralizations or tin-bearing muscovite and tourmaline granites.

--- magmatic monazites characterized by extremely high values of $La+Ce+Pr$ between 76,5 and 90,5 atomic percent.

This type of monazites seems to be typical for Nb-Ta-Sn-pegmatites and accordingly can be used to locate pegmatitic tin and tantalum mineralizations or resulting placer deposits.

Thorium and calcium can be used only very restricted as indicators. Because distribution functions of thorium and calcium contents show similarities between monazites from tin deposits and tin-barren granites.

1) Sigma-index (MURATA 1953)

RESUME

La somme des éléments La+Ce+Pr¹⁾ (% atom.) et le rapport atomique Ce/(Nd+Y) en tant qu'indices géochimiques, et les éléments thorium et calcium ont été déterminés à l'aide de la microsonde dans 192 échantillons de monazite accessoire et détritique de la Thaïlande pour établir des critères afin d'utiliser les monazites comme indicateurs dans le cadre de la prospection de minerais d'étain.

Des monazites de types suivants de gisements stannifères et de granites ont été analysés.

gisements stannifères:

- | | |
|--------------------------------|--|
| a) minéralisations primaires | - minéralisations disséminées de cassitérite |
| | - minéralisations en "greisen" |
| | - pegmatites de Sn |
| | - pegmatites de Li, Sn |
| | - pegmatites de Nb, Ta, Sn |
| b) minéralisations secondaires | - gisements alluv. et éluv. |
| | - gisements marins |
- granites:
- | | |
|-------------------------|---|
| a) granites stannifères | - granites à mouscovite |
| | - granites à tourmaline |
| b) granites à biotite | - granite à biotite de Ranong (porphyrique à grains moyens) |
| | - granite à biotite de Chiang Mai (porphyrique à gros grains) |
| | - granite à biotite et amphibole de Phuket. |

Ci-dessous les plus importants résultats géochimiques:

La distribution de La+Ce+Pr implique trois types majeurs de monazites:

- monazites magmatiques caractérisés par une moyenne arithmétique de 73,9 % atom. et une variation de la dispersion ($\bar{x} \pm 2s$) entre 69,5 et 78,3 % atom. des éléments La+Ce+Pr.
- monazites postmagmatiques caractérisés par une moyenne arithmétique de 66,5 % atom. et une variation de la dispersion ($\bar{x} \pm 2s$) entre 63,0 et 69,9 % atom. des éléments La+Ce+Pr.

Les deux types de monazites se retrouvent ensemble dans les minéralisations disséminées de cassitérite, dans les minéralisations en "greisen" et les granites stannifères à mouscovite et tourmaline.

C'est pour cela qu'il est possible, en trouvant ces deux types de monazites on alors seulement les monazites postmagmatiques dans les concentrations de minéraux lourds dans des sédiments fluviaux, de localiser les minéralisations disséminées de cassitérite, les minéralisations en "greisen" et les granites stannifères à mouscovite et tourmaline.

- monazites magmatiques caractérisés par des valeurs extrêmement grandes des éléments La+Ce+Pr variant entre 76,5 et 90,5 % atom.

Ces types de monazites semblent typiques pour des pegmatites à Nb, Ta, Sn et alors peuvent servir à localiser des minéralisations pegmatitiques de Sn et Ta.

Les éléments Th et Ca n'ont qu'une valeur indicative réduite, parceque leur distribution dans les monazites provenant de minéralisations stannifères ressemble à celle dans les monazites des granites stériles.

1) Sigma-Index (MURATA 1953)

VORWORT

Die vorliegenden geochemisch-lagerstättenkundlichen Untersuchungen wurden durchgeführt im Rahmen eines Projektes der Deutschen Forschungsgemeinschaft "Geochemische Untersuchungen an Begleitmineralen in thailändischen Zinnseifen" unter der Leitung von Prof. Dr. Dr. W. Gocht und mit der technischen und konsultativen Unterstützung des Department of Mineral Resources in Bangkok.

Bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft in Bonn und dem Department of Mineral Resources in Bangkok möchte ich mich für die gewährte Unterstützung bedanken.

Für die Themenstellung, für klärende Diskussionen in allen Stadien der Bearbeitung und für die Geländeerführung in Thailand danke ich Herrn Prof. W. Gocht.

Für die Unterstützung bei der Durchführung von Probennahmen in Thailand und zahlreiche Konsultationen danke ich den Herren Dr. Payome Aranyakanon und Suchit Puwakool (Economy Geology Division des Department of Mineral Resources in Bangkok), Herrn Amnart Tantitamsopon (DMR-Phuket Center), Herrn Supet Wongsampan (DMR-Ranong Center) und Herrn Ing. Nikom Chotikanont (DMR-Chiang Mai Center).

Herrn Dr. H. Gebert (RMRDC/ESCAP, Bangkok) danke ich für die Geländeerführung im Chiang Mai-Gebiet und für die Beratung bei den Probennahmen in Chiang Rai.

Für die tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der Mikrosondeanalysen bin ich Herrn Prof. Dr. A. Willgallis, Herrn Dr. Heyer und Frau Siegmann, für die Unterstützung bei der Röntgenfluoreszenzanalyse Herrn Dr. G. Schneider und Frau Eichhorst zu Dank verpflichtet.

Weiterhin gebührt mein Dank Herrn Prof. Dr. W. Franke für die Hilfe bei der Bewältigung der kristallchemischen Problematik; Herrn Prof. Dr. F. List, Dr. D. Helmcke und Dipl.-Geol. B. Meißner für die Hilfe bei der Auswertung der Satellitenaufnahmen; Herren Prof. Dr. W. Skala, Dipl.-Math. H. Burger für die Hilfe bei der EDV-Verarbeitung der Analysendaten und Fräulein W. Jung für die Hilfe bei der Anfertigung der Zeichnungen.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	8
2. GEOLOGIE DER UNTERSUCHUNGSGEBIETE	9
2.1 Typen und Klassifikation der primären Zinnlagerstätten	10
2.2 Beziehungen zwischen Zinnvererzungen und Graniten im Thai-Malaya Orogen	11
3. ARBEITSMETHODEN	13
3.1 Probennahme	13
3.2 Probenaufbereitung	16
3.2.1 Gewinnung von detritischen Monaziten	16
3.2.2 Gewinnung von akzessorischen Monaziten	18
3.2.3 Probenauswahl durch Röntgenfluoreszenz-Analyse	18
3.2.3.1 Präparation der Proben zur RFA und Meßbedingungen	18
3.2.3.2 Monazitgehalte der Schwermineralkonzentrate aus Zinnseifen	19
3.2.4 Präparation der Proben zur Mikrosondeanalyse	21
3.3 Mikrosondeanalyse	21
3.3.1 Meßbedingungen und Meßprogramm	21
3.3.2 Standards	22
3.3.3 Elementverteilung in Einzelkristallen	22
3.3.4 Mineraleinschlüsse in Monazit	23
3.3.4.1 Xenotim und Yttrium-Dispersionen	24
3.3.4.2 Thorianit und Th-Dispersionen	24
3.3.4.3 Andere Mineraleinschlüsse	24
4. ANALYSEERGEBNISSE: ELEMENTVERTEILUNG IN MONAZITEN	27
4.1 Mittelwerte und Variationsspannen von La+Ce+Pr, Ce/(Nd+Y), Th und Ca in allen Monazitproben ..	27
4.2 Häufigkeitsanalyse der La+Ce+Pr-Konzentration in akzessorischen Monaziten	28
4.2.1 Ergebnisse der Häufigkeitsanalyse in pneumatolytischen Zinnerzen und pneumatolytisch geprägten Granittypen	28
4.3 Elementverteilung in Monaziten aus thailändischen Graniten	30
4.3.1 Seltene Erden	31
4.3.2 Thorium	31
4.3.3 Calcium	33
4.4 Elementverteilung in Monaziten aus thailändischen Zinnerzen	33
4.4.1 Seltene Erden	34
4.4.1.1 Nb-Ta-Sn-Pegmatite	35
4.4.2 Thorium	36
4.4.3 Calcium	38
4.5 Geochemische Indizies der Monazite aus Zinngraniten und aus Zinnerzen	38
5. KLASSIFIKATION DER AKZESSORISCHEN MONAZITE NACH DER ZUSAMMENSETZUNG VON SELTENEN ERDEN MIT CLUSTER-ANALYSE	39
5.1 Methode	40
5.2 Geochemische Gruppen von thailändischen Monaziten	40
5.3 Geochemische Beziehungen zwischen Zinn- und Biotit-Graniten	43

	Seite
6.	SYNTHESE: GENETISCHE BEZIEHUNGEN ZWISCHEN ZINNVERERZUNGEN UND GRANITEN IN THAILAND 46
6.1	Anwendung von Monaziten bei der Prospektion von Zinnerzen 48
6.1.1	Prospektionstest in der näheren Umgebung der primären Zinnvererzungen 48
6.1.2	Prospektionstest in der weiteren Umgebung der primären Zinnvererzungen 48
7.	LITERATURVERZEICHNIS 50

ANHANG:

(Verzeichnis der Analysendaten, Korrelationsdigramme,
Karte der Photolineationen in Phuket)

1. EINLEITUNG

Die Klärung der genetischen Zusammenhänge zwischen Zinnvererzungen und Graniten im Thai-Malaya Orogen ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Erkundung neuer Zinnerzvorräte in Thailand.

Nach der bisher üblichen Klassifikation der primären Zinnlagerstätten (ARANYAKANON 1961, PITAKPAIVAN 1970) treten in thailändischen Granitmassiven primäre Zinnlagerstätten als Pegmatite, Greisen, imprägnative Zinnvererzungen, Skarne und als Quarz-Kassiterit- und Quarz-Kassiterit-Wolframit-Gänge auf und stehen in einer engen räumlichen und genetischen Beziehung vor allem zu pneumatolytisch geprägten Granittypen wie Muskovit- und Turmalin-Graniten, die daher sensu stricto als sogenannte Zinngranite bezeichnet werden. Die Beziehung der thailändischen Zinnlagerstätten zu Biotit-Graniten, die fast die gesamte Fläche der thailändischen Granit-areale ausmachen, ist dagegen unklar bzw. die konventionelle petrographische und petrochemische Analyse reicht nicht aus, um diese Beziehung zu bestimmen.

Eine systematische und kostensparende Entwicklung der Zinnerzprospektion in Thailand macht daher die Untersuchung jeglicher Indikationsmöglichkeiten notwendig. Im Bereich der Anwendung der akzessorischen Schwerminerale als geochemische Indikatoren von Zinnlagerstätten und Zinngraniten ergeben sich z.B. Möglichkeiten bei Zirkon und Rutil (MARMO et al. 1966, NEDASKOVSKIJ et NARNOV 1969, HOSKING 1976, RABINOVIC in HOSKING 1970) oder bei Monazit (MURATA 1953, VAJNSTAJN 1955, FLINTER 1963, FLEISCHER et ALTSCHULER 1969).

Für eine Anwendung von Monazit als Indikator in Thailand sprechen allgemein folgende Voraussetzungen:

- 1) Monazit ist einer der typischen akzessorischen Minerale der thailändischen Granite und daher weitaus häufiger als Kassiterit. Wie aus den Schwermineralanalysen der Zinnseifen hervorgeht (MACDONALD 1971, PIPHOP ISARANHKOON 1973, ARANYAKANON 1974, CHARAN ACHALABHUTI 1975, SUWANASING et AEOPHONTHONG 1975), läßt sich in allen wichtigen Zinnseifen-Distrikten von Thailand darüber hinaus eine enge Bindung von Monazit an Kassiterit und stellenweise eine hohe positive Monazit/Kassiterit-Korrelation nachweisen (OSBERGER 1965).
- 2) Ähnlich wie Kassiterit wird Monazit durch Verwitterungsprozesse nur wenig angegriffen, so daß er in Verwitterungsrückständen erhalten bleibt.
- 3) Im Unterschied zu Kassiterit besitzt Monazit eine deutlich geringere spezifische Dichte (4,8-5,5), so daß er weiter transportiert werden kann und größere und daher leichter auffindbare detritische Dispersionshöfe bildet.

Die Anwendungsmöglichkeit der Monazite als geochemische Indikatoren wurde vor allem von MURATA (1953, 1958, 1959) im Bereich der granitischen Gesteine, der Alkaligesteine und der Karbonatite untersucht. Wie aus Murata's Untersuchungen hervorgeht, läßt sich an akzessorischen Monaziten der granitischen Abfolge eine negative Yttrium-Erden/Cer-Erden Korrelation feststellen, die eine Unterscheidung zwischen hoch und niedrig differenzierten Graniten bzw. zwischen Graniten und granitischen Differentiaten ermöglicht. Als Maß der Konzentrationsbeziehungen der Cer- und Yttrium-Untergruppe der Seltenen Erden (Lanthaniden+Yttrium) in akzessorischen Monaziten wurde von MURATA (1953) die relative Konzentration von La+Ce+Pr (Atom.-%), sogenannter Sigma-Wert, bzw. Atomquotient $Ce/(Nd+Y)$ eingeführt. Beide geochemischen Parameter nehmen in Richtung der granitischen Differentiation ab. Die z.Z. ermittelten Sigma-Werte von Monaziten aus der granitischen Differentiationsreihe schwanken in der Differentiationsabfolge Diorite-Granodiorite-Granite-granitische Pegmatite systematisch zwischen ca. 80 und 51 Atom.-%. Die vorliegenden geochemischen Untersuchungen an thailändischen Monaziten unter Anwendung des geochemischen Parameters Sigma und $La/(Nd+Y)$ sollen einen Beitrag zu Prospektionsmethoden auf Zinnerzlagerstätten insbesondere auf Lagerstätten der wirtschaftlich wichtigen pneumatolytischen Zinnerze, aus Li- und Nb-Ta-Pegmatiten und aus den wichtigen thailändischen Granittypen wie Turmalin-, Muskovit- und wichtigen Strukturtypen der Biotit-Granite bzw. Biotit-Hornblende-Granite untersucht werden. Durch die Untersuchung der detritischen Monazite aus Kassiteritseifen in den wichtigsten thailändischen Zinnseifen-Distrikten in den Provinzen Phuket, Phang Nga, Takua Pa, und Ranong sollen weiterhin Konzentrationsspannen von Sigma und $Ce/(Nd+Y)$ ermittelt und Hinweise auf Liefergranite bzw. Lieferlagerstätten gewonnen werden. Die Anwendungsmöglichkeiten von detritischen Monaziten als geochemischen Indikatoren sollen anschließend an detritischen Monaziten aus Fluß- bzw. Strandsedimenten in der näheren und weiteren Umgebung der primären Zinnerzlagerstätten durch geochemische Tests geprüft werden.

In einer Anlehnung an OVERSTREET (1967) sollen neben den notwendigen mikroanalytischen Bestimmungen von Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym, Samarium, Dysprosium und Yttrium auch Bestimmungen von Thorium und Calcium durchgeführt werden, um die geochemische Signifikanz der Thorium- bzw. Calcium-Führung in akzessorischen Monaziten zu prüfen bzw. die Möglichkeiten von Thorium bzw. Calcium-Analysen als Indikatoren der Zinnvererzungen zu diskutieren.

Die vorgelegten geochemischen Untersuchungen an thailändischen Monaziten strebten allgemein folgende Arbeitsziele an:

- Eine erste genetisch differenzierte Klassifikation der Monazite aus Thailand
- Beiträge zu genetischen Beziehungen zwischen Zinnvererzungen und Graniten im Thai-Malaya Orogen.
- Beiträge zu Prospektionsmethoden auf Zinnvorkommen durch die Anwendung von Monaziten als geochemische Indikatoren.

2. GEOLOGIE DER UNTERSUCHUNGSGEBIETE

Die Probenahmen konzentrierten sich auf Zinnseifen-Distrikte im (peninsularen) Süd-Thailand im westlichen küstennahen Bereich der Provinzen Phuket, Phang Nga und Ranong zwischen $7^{\circ}45'$ und $10^{\circ}00'N$ und $98^{\circ}10'$ und $98^{\circ}40'E$ (Abb. 1).

Einzelproben von akzessorischen Monaziten wurden entnommen in Nord-Thailand, nordöstlich Chiang Mai zwischen $18^{\circ}10'$ und $19^{\circ}20'N$ und $99^{\circ}20'$ und $99^{\circ}40'E$.

Kartenunterlagen:

1) Topographische Karten

Topographische Karte des AMSFE und Royal Thai Survey Department, Bangkok, 1963, 1:50 000, Blatt CA-02, CH-18, CH-22 (Phuket-Gebiet), CA-06 (Phang Nga-Gebiet), CA-18, CA-22 (Takua-Pa-Gebiet), CB-19, CB-23 (Ranong-Gebiet). Topographische Karte des Army Map Service (PV), Bangkok, 1964, 1:250 000, Blatt NC 47-14 (Phuket- und Phang Nga-Gebiet), NC 47-6 (Ranong-Gebiet), NE 47-3 (Chiang Rai-Gebiet), NE 47-7 (Lampang-Gebiet, Chiang-Mai-Gebiet).

2) Geologische Karten

Geologische Karte von Thailand, Department of Mineral Resources, Bangkok, 1974, 1:250 000, Blatt NC 47-14 (Phuket), NC 47-10 (Ranong), NE 47-7 (Lampang), NE 47-3 (Chiang Rai). Garson, M.S. et Bateson, J.H. et al.: Geological map Takua Pa 1:125 000 und Geological map Phuket, Phangnga, Krabi, 1:125 000, Institute of geological sciences, London 1974. Hummel, C.L. (U.S. Geological Survey) et Prachuab Phawandon (D.M.R. Thailand) et al.: Geological map Phuket 1:50 000, D.M.R. Bangkok 1964.

Satellitenbilder:

MSS-Aufnahmen des Earth Resources Technology Satellite (ERTS-1, ERTS-2) der amerikanischen Weltraumbehörde NASA Nr. E-1222-03150, MSS Band 4,5,7 aus 2.3.1973 (Phuket), Nr. E-1222-03143, MSS Band 4,5,7 aus 2.3.1973 (Phuket, Phang Nga, Takua Pa), Nr. E-2362-02593, MSS Band 4,5,7 aus 19.1.1976 (Takua Pa, Ranong). Lage der Satellitenbilder s. Abb. 1.

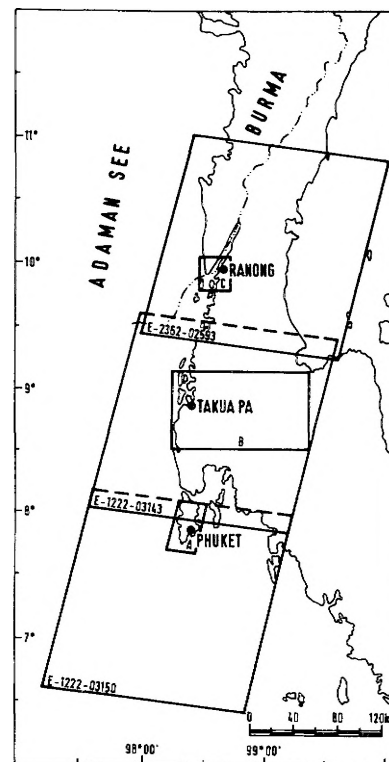


Abb. 1: Lage der Untersuchungsgebiete in Süd-Thailand mit der Lage der Satellitenaufnahmen (ERTS-1,2).

Die Untersuchungsgebiete in Süd- und Nord-Thailand befinden sich in der zinnführenden westlichen und zentralen Zone der thai-malayasischen Granitprovinz, die sich in Thailand entlang der thailändischen Westgrenze in N-S-Richtung auf einer Länge von mehr als 1000 km erstreckt.

Die grundlegenden Arbeiten über den Aufbau und die geologische Entwicklung des Thai-Malaya Orogens stammen von BAUM et al. (1970), JONES (1973), HUTSCHISON (1973), STAUFFER (1974) und MITCHELL (1976). Eine geosynklinale Entwicklung am Ostrand des Thai-Malaya Kratons während des Altpaläozoikum und eine variskische Orogenese im obersten Devon bis Unterkarbon wird allgemein angenommen.

Die ältesten Gesteine im Bereich der Untersuchungsgebiete stellen Gneise und Migmatite des präkambrischen Kristallins westlich und östlich Chiang Mai in Nord-Thailand dar. Die kambrischen bis devonischen Pellite und Psammite der Phuket-Serie und ihre metamorphe Äquivalente (Schiefer, Phyllite) werden als geosynklinale Ablagerungen gedeutet (THEERAPONGS THANASUTHIPITAK 1978). Jüngere und auf den gefalteten Sedimenten der Phuket-Serie auflagernde Gesteine sind vertreten durch Kalksteine und Dolomite der Ratburi-Serie (Oberkarbon-Perm) und in der Nähe von Chiang Mai, in Nord-Thailand, durch Tonschiefer mit zwischengelagerten Tuffen und Andesiteffusionen.

Die Radiometrischen Datierungen (Rb/Sr, K/Ar) an Graniten in Süd-Thailand ergaben Werte von 50 ± 5 , 85 ± 5 , 63 ± 3 , 34 ± 1 und von 107 ± 5 , 120 ± 5 , 113 ± 8 und 150 ± 25 Ma, die auf Intrusionsperioden in Alttertiär/Oberkreide und in der Unterkreide schließen lassen. Darüber hinaus wurden in der Provinz Ranong Werte von 307 ± 1 Ma und in der Provinz Satun Werte von 299 ± 7 Ma, also oberkarbonisches Alter, ermittelt (SUENSILPONG 1977, ANGKATAVANICH 1975).

Aus den radiometrischen Bestimmungen an Graniten in Nord-Thailand ergaben sich neben Werten von 46-57, 60-69, 68-70, 78 und 62 Ma (ANGKATAVANICH 1975) vor allem Werte von 231 ± 31 , 235 ± 5 , 236 ± 14 , 210, 205 Ma (von BRAUN et al. 1976), 299 ± 32 , 260, 240, 212, 209 und 206 Ma, die auf weitere Intrusionsperioden in Trias/Perm schließen lassen und eine Tendenz zu vorwiegend kretazischen Graniten in Süd-Thailand und zu vorwiegend triassischen Graniten in Nord-Thailand deutlich machen.

Die Mehrzahl der Granitintrusionen wird von HOSKING (1970) als synorogen gedeutet, wobei von Intrusionstiefen von 8-12 km ausgegangen wird. In anbetracht der zyklischen Wiederholung der Granitintrusionen in einer Zeitspanne von Karbon bis Alttertiär und in anbetracht nur eines Geosynklijalstadiums des Thai-Malaya Orogens (in Altpaläozoikum) muß dieser Auffassung von HOSKING (1970) widersprochen werden. Die Mehrzahl der Granitintrusionen in Südostasien muß diesen Tatsachen gerecht, daher als eine geochronologische Kette der *post-orogenen* Granitintrusionen aufgefaßt werden.

Die zyklische Wiederholung der Granitintrusionen in Südostasien wird auf der theoretischen Grundlage der Plattentheorie allgemein als Folge der wiederholten Kollision der stabilen Thai-Malaya Kontinentplatte mit der subduzierten Indischen ozeanischen Platte (SUENSILPONG 1977) bzw. mit dem subduzierten ozeanisch-kontinentalem Indochina-Block (OUNCHANUM PRAYOTE 1978) gedeutet.

2.1 Typen und Klassifikation der primären Zinnlagerstätten

Die Klassifikation der primären Zinnlagerstätten in Thailand geht z.Z. von folgenden Typen aus (ARANYAKANON 1969, CHONG NAI HOOI 1978, NUTALAYA 1978):

- 1) Pegmatit- und Greisenlagerstätten
- 2) Hydrothermale Lagerstätten
- 3) Pyrometatomatische Lagerstätten (Skarne)
- 4) Imprägnative Lagerstätten ("Disseminated cassiterite deposits"):
 - a) Imprägnative Lagerstätten in metasomatisch veränderten Graniten
 - b) Imprägnative Lagerstätten im Rahmengestein

Abgesehen von imprägnativen Lagerstätten werden alle übrigen Lagerstättentypen als epigenetische Lagerstätten bewertet. Nach ARANYAKANON (1961) stellt ein Teil der imprägnativen Lagerstätten echte syngenetisch magmatische Bildungen dar.

Die Zusammenfassung der Pegmatit- und Greisenlagerstätten unter einem Lagerstättentyp weicht zwar von üblicher genetischen Einteilung ab, sie entspricht jedoch der Tatsache, daß die Kombination beider Lagerstättentypen in Thailand sehr häufig vorkommt. Nach PONGPOR (1978) stehen alle Typen der thailändischen Zinnlager-

stätten in einem genetischen Zusammenhang zueinander und lassen sich durch Variation der geologischen Bedingungen aus den Albitit-Greisenlagerstätten ableiten. Diese Meinung steht im Einklang mit SMIRNOV (1976) und wird auch durch zahlreiche feldgeologische Befunde bestätigt.

Für die vorliegenden geochemischen Untersuchungen wurden im Unterschied zur thailändischen Auffassung und in prinzipieller Anlehnung an die genetische Einteilung der Zinnlagerstätten von SCHNEIDERHÖHN (1962) die Greisen- und imprägnative Zinnlagerstätten als pneumatolytische Bildungen zu einem Lagerstättentyp zusammengefaßt.

Die wirtschaftlich z.Z. in Thailand zweitwichtigsten Pegmatitlagerstätten wurden weiterhin nach geochemischen Gesichtspunkten in Sn-, Li-Sn- und Nb-Ta-Sn-Pegmatite eingeteilt. Diese Einteilung erschien wegen der genetischen Bedeutung dieser Elementparagenesen notwendig (TAUSON et KOZLOV 1973).

Aus diesen Erwägungen ergibt sich als neue Klassifikation:

- 1) Aplite
 - a) Sn-Aplite
 - b) Nb-Ta-Sn-Aplite
- 2) Pegmatite
 - a) Sn-Pegmatite
 - b) Li-Sn-Pegmatite
 - c) Nb-Ta-Sn-Pegmatite
- 3) Greisen und imprägnative Zinnvererzungen
- 4) Pyrometasomatische Zinnvererzungen
- 5) Hydrothermale Zinnvererzungen
 - a) Quarz-Kassiterit-Gänge
 - b) Quarz-Kassiterit-Wolframit-Gänge

2.2. Beziehungen zwischen Zinnvererzungen und Graniten im Thai-Malaya Orogen

Die Konzentration des Zinnbergbaus in kretazischen und alttertiären Granitarealen in Süd-Thailand, ist ein Anzeichen dafür, daß die Hauptphase der Zinnmineralisation in den jüngsten Intrusionsperioden in Oberkreide/Alttertiär erfolgte.

Für eine ältere Mineralisationsphase in Trias sprechen Quarz-Kassiterit- und Quarz-Kassiterit-Wolframit-Gänge und Zinnskarne in triassischen Graniten von Nord-Thailand und radiometrische Bestimmungen an Greisen- und Pegmatitlagerstätten in Malayasia, die Werte von 207 Ma (K/Ar, Muskovit) und von 251 Ma (K/Ar, Muskovit) ergaben (HOSKING 1977).

Ein Einzelwert von 175 Ma (K/Ar, Muskovit) aus der Greisenlagerstätte in Ost-Malayasia deutet eine weitere jungjurassische Phase der Zinnmineralisation (HOSKING 1977) an.

Für HOSKING (1977) ergibt sich daraus, daß alle Intrusionsperioden in Südostasien eine eigene Zinnvererzungsphase besitzen, und daß es durch die magmatische Aufbereitung der Zinnvererzungen von älteren Granitintrusionen zu einer zunehmenden Zinnanreicherung in den jüngeren Intrusionsperioden kommt. Daher ist auch für HOSKING (1977) die Hauptphase der Zinnmineralisation in Malayasia an spätkretazische bis alttertiäre Granite gebunden.

Das von Hosking vorgelegte Modell der Zinnanreicherung in den jeweils jüngeren Graniten in Südostasien geht offensichtlich von "Granit in Granit" Intrusionen aus, wie sie aus dem Erzgebirge bekannt sind (z.B. Altenberger Außen- und Innengranit). Es muß jedoch in diesem Zusammenhang bemerkt werden, daß z.Z. keine Intrusionsstrukturen von "Granit in Granit" Typ in Thailand bekannt sind, und daß die Altersunterschiede zwischen Außen- und Innengranite im Erzgebirge keinesfalls wie bei Hosking eine erdgeschichtliche Dimension besitzen, sondern in der Zeitspanne einer einzelnen Intrusionsperiode liegen. Außerdem läßt sich im Unterschied zum Erzgebirge anhand der radiometrischen Altersbestimmungen in Thailand und in Südostasien insgesamt auf eine Kette von postorogenen Intrusionsperioden schließen, die nach einer schwer vorstellbaren Verschachtelung von 3-5 Intrusionsperioden verlangen würde, um nach Hosking die höchste Zinnanreicherungen in kretazischen-alttertiären Graniten zu erklären.

Es erscheint wahrscheinlich, daß die Zunahme von Zinn in jeweils jüngeren Granitintrusionen in Südostasien durch die Zunahme von Zinn-Gehalten in den Ausgangsschmelzen dieser Intrusionen bedingt ist, also daß sie durch Fraktionierungsbedingungen im Bereich der tieferen Unterkruste gesteuert wird.

Mit der Frage der sogenannten zinnführenden und zinnfreien Granite in Thailand hatte sich insbesondere ARANYAKANON (1961), PITAKPIAVAN (1970), SUENSILPONG (1977), GARSON et al. (1975) und PONGPOR (1978) beschäftigt.

Nach den petrologischen und lagerstättengenetischen Untersuchungen von ARANYAKANON (1961) an zinnführenden Graniten im Haad Som Pan-Distrikt, Ranong, Süd-Thailand, weisen zinnführende Granite folgende charakteristische Merkmale auf:

- 1) Die Bildungstemperatur der zinnführenden Granite liegt unterhalb von 600°C und ist daher niedriger als die Bildungstemperatur der zinnfreien Granite die mehr als 600°C beträgt.
- 2) Zinnführende Granite haben erhöhte Sn-Gehalte mit oder ohne akzessorischen Kassiterit.
- 3) Zinnführende Granite führen kein Magnetit bzw. der Magnetit-Gehalt liegt unterhalb von 0,02 Gew.-% und ist daher im Vergleich mit den zinnfreien Graniten extrem niedrig.

Nach PITAKPAIVAN (1969) lassen sich zur Charakterisierung der zinnführenden Granite folgende mineralogische und chemische Merkmale anführen:

- 1) Zinnführende Granite sind felsischer sowohl in Farbe als auch in der chemischen Zusammensetzung.
- 2) Nach dem Strukturtyp sind sie feinkörnig, mittelkörnig bis grobkörnig. Demgegenüber besitzen zinnfreie Granite eine grob- bis sehr grobkörnige und porphyrische Struktur mit sehr großen Feldspat-Einsprenglingen.
- 3) Zinngranite sind Muskovit-, Mikroklin-, Apatit- und Turmalin-reich.
- 4) Orthoklas, Hornblende, Biotit und Epidot ist nur wenig vertreten.
- 5) SnO_2 -Gehalte sind deutlich erhöht. Im Durchschnitt betragen sie 0,14 Gew.-%. Der SnO_2 -Gehalt der Gruppe der zinnfreien Granite beträgt demgegenüber im Durchschnitt nur 0,07 Gew.-%.
- 6) In der Regel sind sie jünger als zinnfreie Granite. Dabei können auch triassische bzw. noch ältere Granite als zinnführend bezeichnet werden. Das niedrige Zinnpotential der triassischen Granite in Thailand läßt sich auch durch ein tieferes Abtragungsniveau erklären.

Wie diese Untersuchungen zeigen, ist eine Unterscheidung der Zinngranite nach dem petrographischen bzw. strukturellen Typ insbesondere in der Gruppe der weitverbreiteten Biotit-Granite äußerst problematisch. Durch den Mangel an Aufschlüssen im tropischen Gelände von Thailand wird eine petrographische Indikation der Zinngranite weiterhin erheblich erschwert.

Unter Verwendung von geochemischen Parametern K/Na, K/Rb, Ba/Rb, $(\text{Li} \times 1000)/\text{K}$ und F/Li von TAUSON et KOZLOV (1973) und diesbezüglicher geochemischer Klassifikation der Granitoiden in:

- 1) Plagiogranite
- 2) Ultrametamorphe Granite
- 3) Palingene Granite
- 4) Plusmasitische Leucogranite
- 5) Agpaitische Leucogranite

wurden von PONGPOR (1978) Granite aus Zinnbergbaugebieten in den Provinzen Phuket, Phang Nga und Takua Pa als ein Übergangstyp zwischen plusmasitisch (zinnführend) bis agpaitisch (Seltene Metalle-führend) identifiziert. Diese petrochemische Bestimmungen scheinen für die Klärung der genetischen Beziehungen zwischen Zinnerzlagerstätten und Graniten in Thailand von besonderer Bedeutung zu sein. Z.Z. fehlt es jedoch an vergleichbaren Bestimmungen aus anderen thailändischen Zinnbergbaugebieten bzw. an metallgenetisch unsicheren Biotit-Graniten aus Nord-Thailand, die die geochemische Signifikanz dieser Kriterien auch an thailändischen Granitoiden verifizieren können.

3. ARBEITSMETHODEN

3.1 Probennahme

Eine genetisch differenzierte Probennahme erfolgte in drei Gelände-Campagnen in 1976, 1977 und 1978 in den wichtigsten thailändischen Zinnbergbau-Distrikten in den Provinzen Phuket, Phang Nga und Ranong in Süd-Thailand (vgl. Abb. 2). Einzelproben der akzessorischen Monazite wurden gewonnen in der Provinz Chiang Mai in Nord-Thailand aus grobkörnigem porphyrischem Biotit-Granit.

Genetische Typen der Lieferquellen der Monazite und Koordinaten der Entnahmestellen von Monazitproben sind dem Probenverzeichnis in Tab. 1 zu entnehmen.

Folgende Typen der thailändischen Zinnlagerstätten und Granite wurden berücksichtigt:

Zinnlagerstätten:

- | | |
|---------------------------|--|
| a) primäre Lagerstätten | - imprägnative Zinnvererzungen ("disseminated cassiterite deposits") |
| | - Greisen |
| | - Sn-Pegmatite |
| | - Li-Sn-Pegmatite |
| | - Nb-Ta-Sn-Pegmatite |
| b) sekundäre Lagerstätten | - alluv. und eluv. Seifen |

Granite:

- | | |
|-------------------|---|
| a) Zinngranite | - Muskovit-Granit |
| | - Turmalin-Granit |
| b) Biotit-Granite | - Biotit-Granit aus Ranong (mittelkörnig porphyrisch) |
| | - Biotit-Granit aus Chiang Mai (grobkörnig porphyrisch) |
| | - Biotit-Hornblende-Granit aus Phuket |

Es wurden 31 Proben, davon 21 Detritus-Proben und 10 Festgesteinproben entnommen, aus denen insgesamt 192 Monazitkristalle gewonnen und analysiert werden konnten. Die Beteiligung der einzelnen Lagerstättentypen bzw. Granittypen an der Gesamtanzahl der Proben ist aus dem Probenverzeichnis (Tab. 1) ersichtlich. Die Detritus-Proben von 300-1000 g Gewicht wurden überwiegend als technische Waschkonzentrate im Mittel- und Grobsandbereich aus den Waschrinnen oder Setzmaschinen der Aufbereitungsanlagen (Palong, Jig) und den Schwermineralabgängen (Amang) entnommen. Die radiometrische Festlegung der optimalen Entnahmestellen mit Hilfe des Gamma-Spektrometers GAM-1 der Fa. Scintrex zeigte sich im Bereich der Grubenfelder und Aufbereitungsanlagen als äußerst effektiv. Unter Verwendung eines 2"x2" NaJ(Tl)-Sensors, der zu der Standardausstattung des GAM-1-Spektrometers gehört, wurden in diesem Bereich bei anomalen Monazitanreicherungen Th-Impulsraten von 5- bis 10fachem Untergrund registriert. Demgegenüber zeigte sich im Bereich der Fluß- und Strandsedimente, daß wegen zu niedriger Strahlungsintensitäten Sensoren mit größeren Kristallvolumen wie z.B. GSP-3S mit 348 cm³ NaJ(Tl)-Kristall, bei einem Differentialbetrieb verwendet werden müssen. Die Integralmessungen im Bereich der Strandsedimente ergaben im Bereich der Schwermineralanreicherung der Tiden-Zone eine Erhöhung der Gamma-Strahlung (Gamma-total) um 30-60 % des Untergrundes. Die Integralmessungen im Bereich der Flußsedimente wurden stellenweise durch Anreicherungen des adsorptiven Uranhydroxyl-Ions und durch lokal erhöhte Anreicherung von Rn-222 gestört.

Zur Beprobung von primären Zinnerzen und granitischen Gesteinen wurden unter Beachtung der Repräsentativität stichprobenweise Handstücke abgeschlagen und zu einer Gesamtprobe vereinigt. Das Durchschnittsgewicht der Festgesteinproben lag bei 1,5 kg.

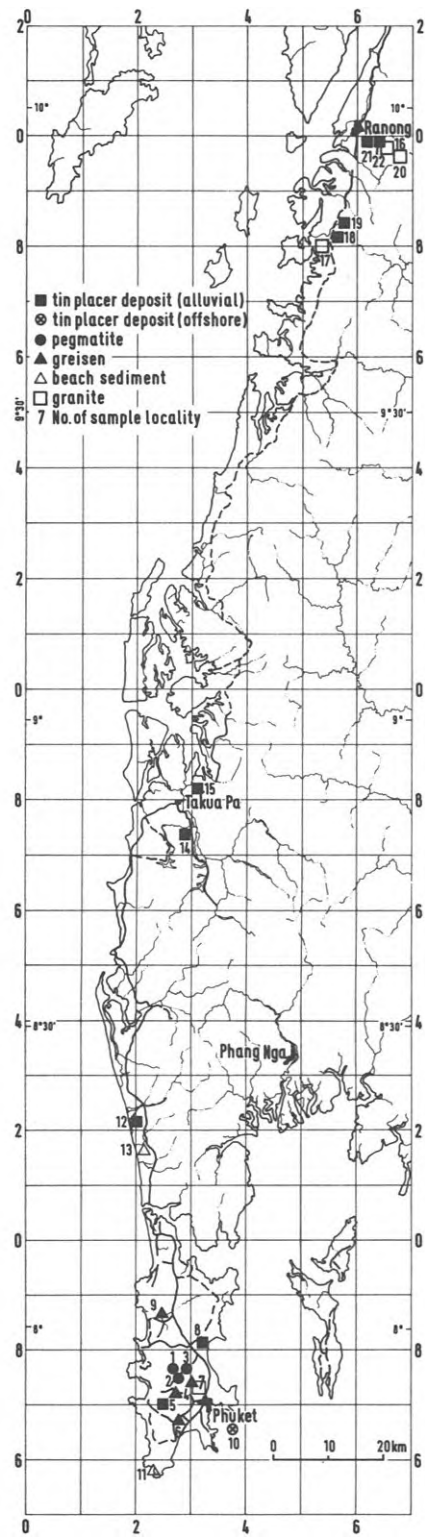


Abb. 2: Lage der Probennahme-
stellen in Süd-Thailand

Tabelle 1: Probennahmestellen- und Probenverzeichnis

Nr. ¹⁾	Probennahmestelle	Blatt	Maßstab	Lage		Probe	genetischer Typ
				rechts	hoch		
a) Provinz PHUKET							
(1)	Tanti Ko Vit Mine/W	CH 22	50 000	27,3	76,3	015/016	flu.Zinnseife(016),Pegmatit
(2)	Tanti Ko Vit Mine/E	CH 22	50 000	28,0	75,9	022	Pegmatit
(3)	Sutut Mine	CH 22	50 000	28,7	76,5	032	Pegmatit
(4)	Lee Tong Kang Mine	CH 22	50 000	28,2	72,2	052/057	Li-Pegmatit mit Greisen
(5)	Keng Nguan Mine	CH 22	50 000	27,1	68,7	073	flu.v.Zinnseife
(6)	Tawat Mine	CH 22	50 000	27,8	66,8	076	Greisen-Granit
(7)	Hoey Siang Mine	CH 22	50 000	31,2	74,6	080/083 113/203	flu.v.Zinnseife(080/083), Biotit- Hnbl.-Granit, Greisen (203)
(8)	Lunseng Mine	CH 22	50 000	32,6	81,2	095	flu.v.Zinnseife
(9)	Chalerm Mine	CA 02	50 000	24,6	88,2	107/209	Greisen
(10)	Phuket Bucht	CH 22	50 000	39,3	67,6	024	marine Zinnseife
(11)	Nai Harn Beach	CH 18	50 000	23,9	58,4	221	Strandsediment
b) Provinz PHANG NGA							
(12)	Bannarat Mine	CA 06	50 000	19,8	24,5	125	flu.v.Zinnseife
(13)	Ban Na Tai Beach	CA 06	50 000	20,8	15,4	229	Strandseife
c) Region TAKUA PA (Provinz Phang Nga)							
(14)	Sahamit Mine	CA 18	50 000	25,6	72,9	135	flu.v.Zinnseife
(15)	Ban Nam Kam Mine	CA 22	50 000	25,6	79,2	014	flu.v.Zinnseife
(15)	Thung Kamin Mine	CA 22	50 000	25,6	79,2	500	flu.v.Zinnseife
d) Provinz RANONG							
(16)	Wilas Mine	CB 23	50 000	66,2	99,1	148	Muskovit-Granit
(17)	K.K. Mining Co.	CB 19	50 000	54,8	81,0	156	Biotit-Granit
(18)	Sa Ngung Lim Pan. Mine	CB 19	50 000	57,4	86,1	161/190/191	flu.v.Zinnseife
(19)	Ranong Mining Ltd.	CB 23	50 000	59,0	88,0	166	flu.v.Zinnseife
(20)	Haad Som Pan Mine	CB 23	50 000	65,3	00,2	007	Turmalin-Granit
(21)	Ngan Tha Wee Mine	CB 23	50 000	63,0	00,4	182	flu.v.Zinnseife
(22)	Taksin Mining Co.	CB 23	50 000	62,6	00,8	187	flu.v.Seife
e) Provinz Chiang Mai							
(23)	km 10 Straße W Wiang Po	NE 47	250 000	205,0	100,3	238	Biotit-Granit

¹⁾Nr. der Probennahmestelle v. Karte Abb. 2.

Im Hinblick auf die spätere EDV-Verarbeitung wurden alle Proben durchlaufend nummeriert und mit dem Anfangsbuchstaben der Seifenzinn-Distrikte gekennzeichnet. Die feldgeologische Probenbeschreibung wurde durch die Einführung der Probenkarte (Abb. 3) systematisiert.

Probenbezeichnung Projekt: Monazit		R-187-22		1. Datum: 28.2.1977	2. Kollektor: Pluhar
3. Koordinaten x: 62,6 y: 00,8 z:		4. Kartenblatt CB-23		5. Maßstab 1:50000	
6. Lokalität TAKSIN Mining		7. Probentyp Sedimentprobe <input type="checkbox"/> In situ <input type="checkbox"/> Waschkonzentr. <input checked="" type="checkbox"/> Techn. Konzentrat <input type="checkbox"/>			
8. Entnahmestelle im Gelände Flußbett <input checked="" type="checkbox"/> Terrasse <input type="checkbox"/> Talwe <input type="checkbox"/> Talhang <input type="checkbox"/> Delta <input type="checkbox"/> Strand <input type="checkbox"/> Off-shore <input type="checkbox"/>					
9. Lagerstättentyp Fluvialit. Seife <input checked="" type="checkbox"/> Eluviale Seife <input type="checkbox"/> zersetzter Pegmatit <input type="checkbox"/> zersetzter Gneisen <input type="checkbox"/> Strandseife <input type="checkbox"/> marine Seife <input type="checkbox"/> fossile Seife <input type="checkbox"/>					
10. Primärminerale der Selbminerale Pegmatit <input type="checkbox"/> Gneisen <input type="checkbox"/> hydrothermale Lauge <input type="checkbox"/> Skarn <input type="checkbox"/>				11. Liefergestein ?	
12. Entnahmestelle (Aufbereitungs) Pelang <input type="checkbox"/> Setzherdtelling <input type="checkbox"/> Magnetscheider <input type="checkbox"/> Elektrostat. Scheider <input type="checkbox"/> Amang <input type="checkbox"/>					
13. Entnahmetechnik Schaufel <input checked="" type="checkbox"/> Schlitz <input type="checkbox"/> Bohrung <input type="checkbox"/> Bagger <input type="checkbox"/>				14. Entnahmefiefe	
15. Probenanreicherung abgeleibt: SH-Konzentr. 25 % <input type="checkbox"/> SH-Konzentr. 50 % <input type="checkbox"/> SH-Konzentr. 75 % <input checked="" type="checkbox"/> SH-Konzentr. 100 % <input type="checkbox"/>				16. Proportionsindizes Zinnseife	
17. Mineralogische Zusammensetzung der Probe (feldgeologischer Befund) Monazit, Zirkon, Kassiterit, Quarz, ..				92m/h	

Abb. 3: Feldgeologische Probenkarte am Beispiel der Probe R-187-22 aus der Zinngrube Taksin Mining in Ranong

3.2 Probenaufbereitung

Bei der Probenaufbereitung zur Gewinnung von Monazitkonzentrat wurde von konventionellen Aufbereitungsverfahren zur Gewinnung der Schwermineralkonzentrate ($\rho > 2,95$) ausgegangen (MÜLLER 1964, KLIX 1967). Anstelle einer auflichtmikroskopischen Auswertung des Probenmaterials wurde die Röntgenfluoreszenzanalyse auf Element-Indikatoren Ce, Y, Sn, Nb, Ta, W, Ti, Zr, U und Th alternativ eingesetzt.

3.2.1 Gewinnung von detritischen Monaziten

Alle Detritus-Proben durch manuelles Auswaschen oder technisch hergestellten Vorkonzentrat wurden gewaschen, getrocknet, gewogen und von einer Ausgangsmenge zwischen 300-1000 g auf eine Scheidetrichtereinwaagemenge von 100-200 g unter Verwendung eines Flaschenprobenteilers (Fritsch) heruntergeviertelt. Restliche Probenteile wurden vereinigt und archiviert (Probe-Archiv, Inst. f. Geol.). Das Material der Teilprobe (Probe-Aufbereitung) wurde vor der nachfolgenden Bearbeitung wahlweise mit 5 %iger HCl- oder Na-Dithionit-Lösung getränkt und im Wasserbad einige Minuten mit Ultraschall behandelt, um die die elektromagnetische Fraktionierung störenden Eisen-Hydroxykrusten zu entfernen.

Mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse wurden anschließend alle Vorkonzentrate auf die Elemente Ce, Y, Sn, Nb, Ta, W, Ti, Zr, U und Th analysiert und Proben ohne nachweisbare Monazit- bzw. Ce-Gehalte aussortiert.

Bei der Schwereflüssigkeitstrennung wurde Tetrabromäthan ($\rho = 2,95$) verwendet. Als Trenngefäße dienten wahlweise Scheidetrichter mit einem Volumen 500 bzw. 1000 cm³ (nach SQUIB), die mit Einwaagen bis zu 150 g beschickt wurden.

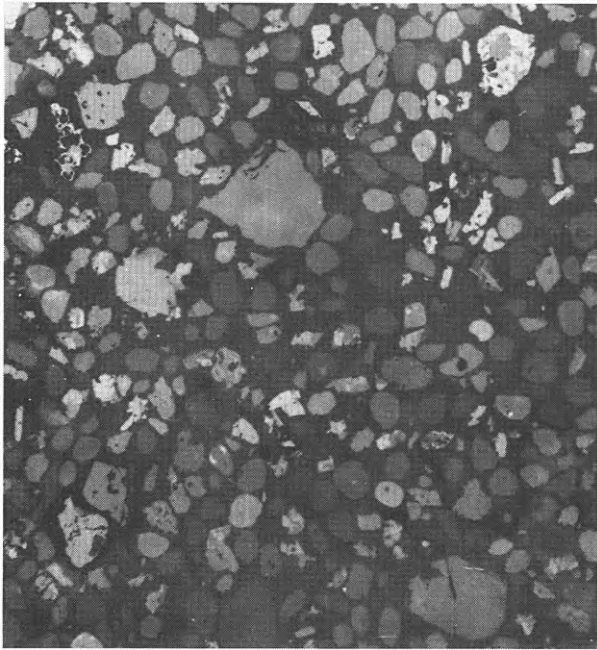


Fig. 1

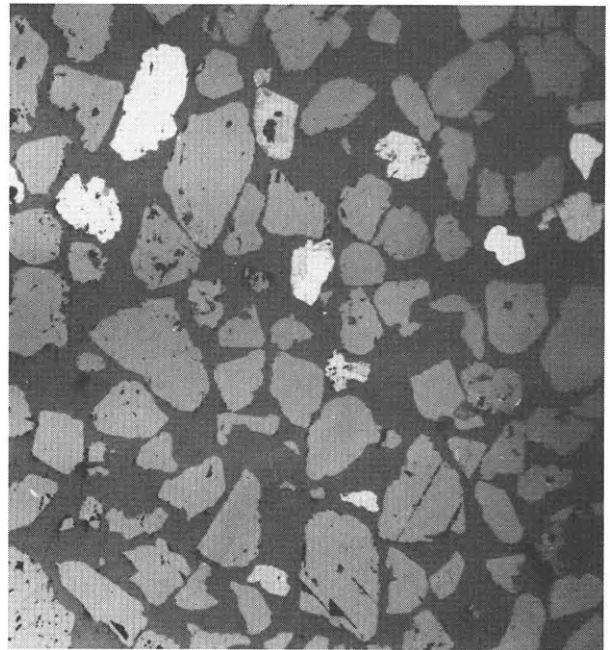


Fig. 2

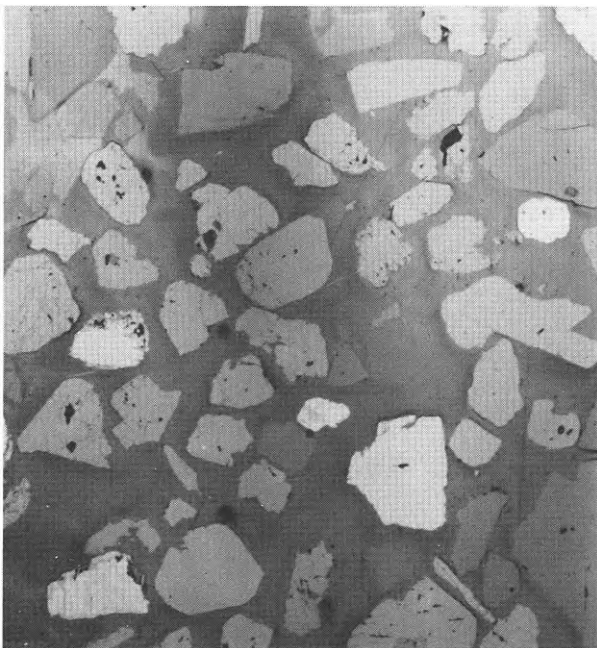


Fig. 3

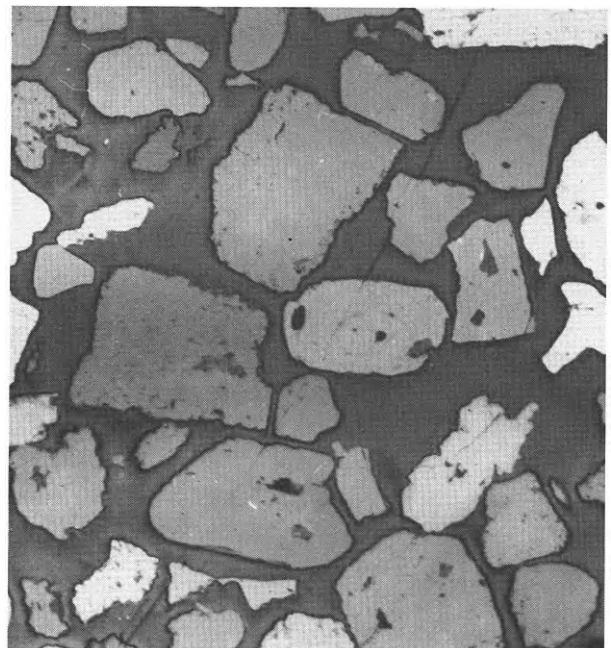


Fig. 4


Maßstab: 1000 μm 

Fig. 1 - 4: Auflichtmikroskopische Aufnahmen von Anschliffen von detritischem Monazit (mittelgrau) aus thailändischen Zinnseifen (* Nic.).

- 1 Hoey Siang Mine, Phuket (P-80)
- 2 Sahamit Mine, Takua Pa (P-135)
- 3 Bannarat Mine, Phang Nga (P-125)
- 4 Ngan Tha Wee Mine, Ranong (R-182)

Die Trennung der Monazit-Fraktion erfolgte mit dem Magnetscheider (Frantz-Isodynamic Magnetic Separator). Der optimale Gewinnungsbereich wurde mit Blindproben von Monazit-, Zirkon-, Ilmenit-, Rutil-, Columbit- und Kassinertit-Mischungen geeicht und die Ergebnisse der Fraktionierung mit Hilfe von Röntgenfluoreszenz wiederum auf die Elemente Ce, Y, Sn, Nb, Ta, W, Ti, Zr, U und Th analysiert. Die höchste Monazitanreicherung wurde bei 30° Längs- und 12° Querneigung der Transportschiene in der magnetischen Fraktion 0,7-0,8 Å bei einem Gewinnungsbereich zwischen 0,6-1,0 Å erzielt.

Wie aus den Untersuchungen über die magnetische Suszeptibilität von Monaziten (RICHARTZ 1961) hervorgeht, treten bei Monaziten bedeutende Suszeptibilitätsschwankungen infolge unterschiedlicher Konzentrationsverhältnisse von Elementen der Cer- und Yttrium-Untergruppe auf. Um einen unerwünschten Sortierungseffekt zu vermeiden, war es daher notwendig, nicht nur Monazite der magnetischen Fraktionen 0,7-0,8 Å mit der höchsten Monazitanreicherung, sondern Monazite aus dem gesamten Gewinnungsbereich zwischen 0,55 bis 1,0 Å zu verwenden. Jedes Schwermineral-Konzentrat wurde deshalb in magnetische Fraktionen -0,3, -0,5, -0,6, -0,7, -0,8, -0,9, -1,0, -1,2, -1,6 zerlegt, und mag. Fraktionen -0,6, -0,7, -0,8, -0,9, -1,0 wurden als Ausgangsmaterial zur Analyse verwendet.

3.2.2 Gewinnung von akzessorischen Monaziten

Zur Gewinnung von Monazitkonzentrat aus granitischen Festgesteinsproben wurde das Aufbereitungsschema von LEE und DODGE (1964) angewandt. Dieses Aufbereitungsschema unterscheidet sich vom Aufbereitungsverfahren für Detritus-Proben im wesentlichen nur durch die notwendige Zerkleinerung des Probenmaterials.

Die Zerkleinerung der Handstücke von Zinnerzen bzw. granitischen Gesteinen bei einem Probengewicht von ca. 1,5 kg und einer Stückgröße von 5 bis 15 cm erfolgte mittels Wedag-Backenbrecher und nachfolgend bei einer Aufgabekorngröße 25 mm mittels Feddeeler Labor-Kegelbrecher.

Die Trennung des Mahlguts im Korngrößenbereich 63 µm - 3000 µm in einzelnen Kornfraktionen erfolgte durch die maschinelle Naßsiegung (Laborsiebmaschine Typ RETSCH-30) mit Siebsatz 63-125-250-500-1000 µm. Zur Gewinnung von Monaziten wurde wie bei konventionellen schwermineralanalytischen Untersuchungen die Kornfraktion 63-250 µm verwendet (MÖLLER 1966).

Im weiteren wurde diese Kornfraktion zur Gewinnung von Monazitkonzentrat als Detritus-Probe nach konventionellen Aufbereitungsschema zur Gewinnung von Schwermineral-Konzentraten behandelt (3.2.1).

3.2.3 Probenauswahl durch Röntgenfluoreszenzanalyse

Die Anwendung von RFA anstelle einer konventionellen lichtoptischen Analyse diente im wesentlichen einer halbquantitativen Erfassung der Monazitgehalte in einzelnen Schwermineralkonzentraten mittels Indikator-Elemente. Als Ergebnis der RFA-Analyse konnte eine gezielte und zeitsparende Auswahl der Schwermineral-Konzentrate für die nachfolgenden und zeitaufwendigen Aufbereitungsschritte bzw. für die Präparation zur Mikrosondeanalyse vorgenommen werden (Tab. 5). Darüber hinaus wurden Hinweise auf die Verteilung bzw. Paragenesen einer Reihe von wichtigen Begleitmineralen in einer hohen Anzahl von thailändischen Zinnseifen gewonnen, die unter Umständen als Ansatz für weitere Untersuchungen bzw. Erkundungsarbeiten dienen können.

3.2.3.1 Präparation der Proben zur RFA und Meßbedingungen

Die qualitativen Übersichtsanalysen von Stichproben ergaben den Nachweis der Schwermetalle Ce, Y, Nb, Ta, Zr, Sn, W, Ti, Th und U, die als Haupt- und Nebenelemente und in stark variabler Konzentration auftreten. Unter Berücksichtigung der hohen Konzentration von schweren Elementen und der variablen Konzentrationsverhältnisse innerhalb und zwischen einzelnen Schwermineralkonzentraten und bei einer Anlehnung an SCHNEIDER (1974), wurde folgendes Verfahren für eine direkte Röntgenfluoreszenzanalyse auf die Hauptelemente Ce, Y, Nb, Ta, Zr, Sn, W, Ti, Th und U gewählt:

- Schwermineral-Konzentrate wurden in einer Achatkugelmühle (FRITSCH-PULVERISETTE) auf ca. 20 µm gemahlen und zur Unterdrückung von Matrixeffekten mit $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ im Verhältnis 1:5 verdünnt und zu Tabletten gepresst.
- Alle Messungen erfolgten als Relativmessungen gegen einen äußeren geochemischen Standard S-1 (vgl. 3.2.3.2), der aus mineralreinen Substanzen und $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ als Grundsubstanz hergestellt wurde.
- Intensitätswerte ergaben sich als Mittel aus je drei Meßzyklen, Standardintensitäten wurden gleich 100 gesetzt.

- Für die gemessene Element- und Untergrundlinien wurde ein automatisches Meßprogramm aufgestellt (vgl. Tab. 3) und die Auswertung der Messungen erfolgte automatisch über Olivetti-Tischcomputer.
- Für die Analyse wurde eine 1,6 kW-Cr-Röhre verwendet. Alle Messungen erfolgten im Vakuum (ca. 0,2 Torr) mit Präparatdrehung und mit der Ausnahme von Ti mit der automatischen Diskriminatoreinstellung (ext.).

Tab. 3: Halbautomatisches Meßprogramm für die Hauptelemente Sn, Nb, Zr, Y, U, Th, W, Ta, Ti und Ce (semiquantitative Bestimmung)

Position	Kanal	Element	Winkel	Linie	Kristall	Kolli-Zähler mator		Imp. Vorw.	mA	kW
2	1	Sn	20,07	K_{α} I	LiF(220)	f	S	1×10^5	4	60
3	2	Nb	27,20	K_{β} I	LiF(220)	f	S	1×10^4	24	60
4	3	Zr	29,70	K_{β} I	LiF(220)	f	S	1×10^5	24	60
5	4	Y	34,40	K_{α} I	LiF(220)	f	S	1×10^4	24	60
6	5	U	37,76	L_{α} I	LiF(220)	f	S	1×10^4	24	60
7	6	Th	39,40	L_{α} I	LiF(220)	f	S	1×10^4	24	60
8	7	W	62,63	L_{α} I	LiF(220)	f	S+F	1×10^5	24	60
9	8	Ta	64,80	L_{α} I	LiF(220)	f	S+F	1×10^4	24	60
10	9	Ti	124,16	K_{α} I	LiF(220)	f	F	1×10^5	8	60
11	10	Ce	128,46	L_{α} I	LiF(220)	f	F	1×10^5	24	60

3.2.3.2 Monazitgehalte der SM-Konzentrate aus Zinnseifen

In der Tab. 5 zusammengestellte Werte der relativen Intensitäten von Sn, Nb, Zr, Y, U, Th, W, Ta, Ti und Ce-Linien sind in den Spalten vergleichbar und geben daher Hinweise auf die Verteilung der Elementgehalte bzw. auf die Verteilung wichtiger Haupt- und Begleitminerale in Zinnseifen Süd-Thailands. Über die Zusammensetzung des natürlichen äußeren Standards S-1 (vgl. Tab. 4) lassen sie bei Elementen, die nur an ein Mineral gebunden sind, eine direkte halbquantitative Umrechnung in Mineralgehalte zu (Sn, W, Zr und im wesentlichen aus Ce). Bei Elementen, die am Aufbau von mehreren Mineralen beteiligt sind (Nb, Ta, Y, Th, U, Ti), besteht die Möglichkeit -- unter Berücksichtigung aller Elemente -- indirekt Rückschlüsse auf die vorliegende Mineralart zu gewinnen (z.B.: hohe Y-Werte und niedrige Th-Werte=Xenotim).

Tab. 4: Zusammensetzung von äußerem Standard S-1 und normierte Intensitäten der Meßlinien

Mineral	Gew.-%	Linie	vor. Intensität
Zinnstein	31,52	K_{α} I Sn	100
Wolframit	13,68	L_{α} I W	100
Monazit	13,71	L_{α} I Ce	100
Zirkon	13,69	K_{α} I Zr	100
Ilmenit	13,78	K_{α} I Ti	100
Coulombit	13,69	K_{α} I Nb	100

Wie die parallel durchgeführten mikroskopischen und mikrosondeanalytischen Untersuchungen an Stichproben ergaben, ist der weitaus überwiegende Anteil von Cer an das Mineral Monazit gebunden, und nur sehr sporadisch treten andere Minerale der Seltenen Erden-Reihe wie Orthit oder Brannerit auf.

Tab. 5: Relative Intensitäten von Sn, Nb, Zr, Y, U, Th, W, Ta, Ti und Ce in SM-Konzentraten aus thailändischen Zinngruben (ohne Untergrund)

Grube	Probe	Sn	Nb	Zr	Y	U	Th	W	Ta	Ti	Ce
Phuket-Provinz											
Tanti Ko Vit Mine/W	P-016	217	46	31	-	29	-	7	41	5	-
Tanti Ko Vit Mine/W	P-017	76	23	52	-	32	02	-	18	14	-
Phuket Bay-Dredge	P-024	64	35	111	27	37	12	-	20	126	15
Tanti Ko Vit Mine/E	P-022	102	29	20	-	-	-	-	9	89	14
Sutut Mine	P-032	117	33	396	125	114	15	-	230	6	22
Lee Tong Kang Mine	P-052	27	20	46	56	32	35	-	6	197	38
Lee Tong Kang Mine	P-053	5	5	132	60	50	34	-	5	222	38
Keng Nguan Mine	P-073	8	1	13	27	23	4	-	-	174	15
Tawat Mine	P-075	2	16	-	14	14	-	-	-	217	16
Hoey Siang Mine	P-081	64	56	334	92	108	46	2	58	101	34
Hoey Siang Mine	P-082	20	301	-	-	25	2	10	282	198	21
Hoey Siang Mine	P-083	25	19	27	15	21	3	-	4	134	12
Lunseng Mine	P-095	178	41	15	-	18	4	-	15	114	10
Chalerm Mine	P-107	33	20	106	100	78	83	-	21	158	23
Chalerm Mine	P-209	38	3	45	28	74	86	-	11	78	15
Phang Nga-Provinz											
Bannarat Mine	P-125	25	9	16	60	30	25	-	-	157	26
Takua Pa-Distrikt (Phang Nga Provinz)											
Sahamit Mine	P-135	112	28	84	150	65	38	3	3	143	40
Sin Thong Mine	P-130	7	21	13	29	14	14	-	-	284	31
Ban Nam Kam Mine	P-014	8	23	76	50	24	5	-	6	284	26
Ranong-Provinz											
Haad Som Pan Mine	R-008	-	20	-	13	-	-	255	25	-	-
Haad Som Pan Mine	R-009	180	35	78	39	50	29	27	21	5	-
Haad Som Pan Mine	R-010	3	24	-	2714	140	48	157	39	3	28
Haad Som Pan Mine	R-012	3	27	-	1497	180	41	186	37	4	33
Lee Na Ranong Mine	R-141	83	10	-	509	37	17	102	12	-	14
Boonjit Mine	R-150	74	25	17	57	47	11	-	16	12	5
K.K.Mining	R-153	8	-	-	-	-	-	-	-	19	12
Sanguam Lim Mine	R-158	22	20	12	220	110	16	4	9	105	20
Sanguam Lim Mine	R-161	77	37	49	148	87	18	4	16	108	15
Ranong Mining Co.	R-166	67	10	64	66	43	21	-	7	178	25
Taksin Mining	R-187	107	51	4	16	-	5	14	11	53	9
Sanguam Lim Mine	R-190	34	14	25	16	115	11	5	9	115	43
Sanguam Lim Mine	R-191	56	18	33	76	76	5	11	9	108	32

x) Relativmessungen von Nettointensitäten gegen äußerem Standard (ST-2). Standardintensität = 100. Meßbedingungen vgl. Tabelle

Daher besteht die Möglichkeit, die rel. Intensitäten der Ce- L_{α_1} -Linie direkt in halbquantitative Monazitgehalte umzurechnen. Wie aus den Analyseergebnissen hervorgeht, tritt Monazit oft hoch angereichert in 28 von 32 Schwermineralkonzentraten bei einer Konzentration zwischen 0,7 bis 5,9 Gew.-% auf. Dabei sind Monazitgehalte von 2-3 Gew.-% sehr häufig. Damit lassen sich bisherige Hinweise auf eine enge Vergesellschaftung von Monazit und Kassiterit in Zinnseifen bestätigen (vgl. 1.). Darüber hinaus läßt sich aus der Elementverteilung ableiten, daß in Süd-Thailand mehrere geochemisch spezialisierte, primäre Typen der Zinnlagerstätten auftreten müssen. Hierbei verweisen anomal hohe W-Gehalte in der Lagerstättengruppe Haad Som Pan und Lee Na Ranong in der Provinz Ranong auf einen Zinnstein-Wolframit-Vererzungstyp, der weiterhin durch eine anomale Y- bzw. Xenotimgehalte charakterisiert wird. Demgegenüber können primäre Zinnvererzungen auf der Phuket-Insel als relativ wolframfrei bezeichnet werden. Auffallend sind weiterhin anomal hohe Nb- und Ta-Gehalte in der Hoey Siang Mine und anomal hohe Ta-Gehalte in der Sutut-Mine (beide Phuket-Insel), die auf eine Nb- bzw. Ta-Spezialisierung der primären Zinnvererzungen dieser Zinngruben schließen lassen.

3.2.4 Präparation der Proben zur Mikrosondeanalyse

Zur Präparation der Monazitkörner zur Mikrosondeanalyse wurde ein von WILLGALLIS und HEYER (Institut für Mineralogie FU-Berlin) entwickeltes Präparationsverfahren verwendet. Monazitkörner wurden ausgelesen aus der vereinten Magnetscheider-Fraktion $-0,6 - -1,0 \text{ \AA}$ unter dem Stereomikroskop (LEITZ) und auf Mikrosonde-Objektträger (gepreßte Polystyrol-Tabletten) mit dem Einbettungsmittel Plastimet eingebettet. Das Anschleifen der Präparate erfolgte mit der Flächenschleife. Das Feinschleifen und Polieren der Präparate bis auf eine Oberflächenrauigkeit von $0,25 \mu\text{m}$ erfolgte in mehreren Schritten ($7,4,2,1,0,25 \mu\text{m}$) mit dem Poliergerät MINIMET (Minimet 69-1000, Buehler LTD.) unter Verwendung von Diamant-Polierpaste METADI (BUEHLER Ltd.). Um eine störende Aufladung der Probenoberfläche durch den Elektronenstrahl zu vermeiden, wurde anschließend im Vakuum elektrisch leitfähige Kohlenstoffschicht von ca. 200 \AA Schichtdicke aufgedampft. Beispiele der hergestellten Anschliffe von thailändischen Monaziten zur Mikrosondeanalyse sind in der Taf. 1, Fig. 1-4, angeführt.

3.3 Mikrosondeanalyse

Die Elektronenstrahl-Röntgenmikroanalyse (Electron-Microprobe-Analysis) weißt neben der Sekundärionenmassenspektrometrie unter allen mikroanalytischen Methoden die geringste Erfassungsgrenze auf und ist somit als Analysenmethode kleinster Bereiche, insbesondere zur geochemischen Untersuchungen an akzessorischen Schwermineralen, geeignet (WILLGALLIS 1975). Darüber hinaus ist von entscheidendem Vorteil, daß sie auf fast alle Elemente anwendbar ist.

Die Probleme einer quantitativen Bestimmung von Elementen der Seltenen Erden in Monazit sind vor allem durch den Mangel an entsprechenden geochemischen Standards bedingt (AMLI 1975). Weiterhin treten bei einigen Elementen der Seltenen Erden wie Gd Überlappungen mit hochintensiven Linien anderer Seltener Erden auf, die eine quantitative Bestimmung verhindern bzw. nach einer umfangreichen und unsicheren rechnerischen Korrektur verlangen.

3.3.1 Meßbedingungen und Meßprogramm

Die Auswertung von Übersichtsspektrogrammen ergab, daß die Elemente La, Ce, Pr, Nd, Sm, Dy, Y, die über mehr als 95 % aller am Aufbau von Monazit beteiligten Elementen der Seltenen Erden ausmachen (FLEISCHER u. ALTSCHULER 1969), und weiterhin die Elemente Th und Ca über wichtige und gut auflösbare Röntgen-Linien verfügen (vgl. Tab. 6). Störende Interferenzen treten mit Linien höherer Ordnung auf und lassen sich durch automatische Impulshöhenanalyse ausschalten. Demgegenüber zeigt das Element Gd bei einem Konzentrationsbereich im Monazit von bis ca. 3 Gew.-%, insbesondere bei seiner wichtigen L_{α_1} -Linie (100), Überlappungen mit Linien von Ce und La ($Ce L_{\gamma_1 I}$; $La L_{\gamma_2 I}$), also von Elementen, die in einer weitaus höheren Konzentration auftreten und dadurch die Peakhöhe von Gd I_{α_1} wesentlich beeinflussen. Der Versuch, den Korrekturfaktor für die interferierende Linie zu berechnen, nach AMLI (1975) mit Hilfe der Gd L_{α_1} -Linie in reinem Gd_2O_3 über

$$\left(\frac{\text{Netto Impulse}}{\text{Netto Impulse}} \frac{\text{Gd, } L_{\alpha_1} I \text{ in Pos. Ce } L_{\beta_1} I}{\text{Gd } L_{\alpha_1} I} \right) \times 100,$$

erwies sich als sehr unbefriedigend, so daß auf die Bestimmung von Gd verzichtet werden mußte. Durch die Umrechnung in Atomprozente werden daher Werte der übrigen Elemente der Seltenen Erden systematisch leicht angehoben. Im Hinblick auf die Zielsetzung der Untersuchungen, die die relativen Konzentrationsunterschiede der Seltenen Erden betont, ist diese Verfahrensweise legitim.

Alle Messungen wurden als Punktmessungen mit einem Strahldurchmesser von $30 \mu\text{m}$ durchgeführt unter deren Einwirkung keine Instabilität der Proben und Standards beobachtet wurde. Die Anregungsspannung betrug 15 kV und der Probenstrom 1000 bc (150 nA). Für die Bestimmung von La, Ce, Y, Nd und Th wurde das ADP-Spektrometer und für die Bestimmung von Ca, Pr, Gd, Sm, Eu und Dy das Spektrometer mit LiF (220)-Kristall in einem automatischen Meßprogramm (Kurzdiagramme) verwendet (vgl. Tab. 6).

Tab. 6: Automatisches Meßprogramm für die Hauptelemente La, Ce, Y, Nd, Th, Ca, Pr, Gd, Sm, Eu und Dy (quantitative Bestimmung mit der Mikrosonde ARL-EMX)

Element	Winkel	Linie	Kristall	Imp.Vorw.	kV	nA
La	3,037	$L_{\alpha_1} \text{ II}$	ADP	5 K	15	150
Ce	2,901	$L_{\alpha_1} \text{ III}$	ADP	5 K	15	150
Y	2,440	$L_{\alpha_1} \text{ I, 2}^{\text{I}}$	ADP	5 K	15	150
Nd	1,640	$L_{\beta} \text{ 1, 4}^{\text{II}}$	ADP	1 K	15	150
Th	1,566	$M_{\alpha} \text{ 1, 2}^{\text{I}}$	ADP	5 K	15	150
Ca	3,358	$K_{\alpha} \text{ 1, 2}^{\text{I}}$	LiF	3 K	15	150
Pr	2,259	$L_{\beta} \text{ 1}^{\text{I}}$	LiF	1 K	15	150
Sm	1,998	$L_{\beta} \text{ 1}^{\text{I}}$	LiF	1 K	15	150
Dy	1,909	$L_{\alpha} \text{ 1, 2}^{\text{I}}$	LiF	1 K	15	150

3.3.2 Standards

Zur Herstellung der Eichproben (Standards) für die Mikrosonde ARL EMX wurden synthetische Mischungen von Oxiden der Seltenen Erden von Johnson Matthey Chemicals Ltd. (Standard Powder Mixture Nr. 3) und geochemische Standard Monazit-Sand-ERDA der U.S. Atom Energy Kommission verwendet. Die zur Aufstellung der Eichkurven notwendige Anpassung dieser Substanzen an die Konzentrationsverhältnisse im Monazit bzw. die erforderliche Verdünnung erfolgte durch den Zusatz von analysenreinen Oxiden der Seltenen Erden von Merck bzw. durch den Zusatz von $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$. Als Flußmittel wurde $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ oder $\text{Na}_2\text{P}_5\text{O}_7$ verwendet.

Eine Reihe von Voruntersuchungen ergab, daß die Standardpräparation durch das Schmelzen mit $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ oder $\text{Na}_2\text{P}_5\text{O}_7$ bei der Schmelztemperatur 1200°C nicht eine erforderliche Homogenisierung bei einem Verdünnungsfaktor kleiner als 1:4 gewährleistet. Durch diese experimentelle Bedingungen mußten Konzentrationsunterschiede zwischen Standards und Monazitproben bei Elementen La, Ce und Nd hingenommen werden, die eine Extrapolation der Eichkurven dieser Elemente im Konzentrationsbereich von Monazit notwendig machen. Die Untersuchung der Eichproben auf Inhomogenitäten (Verunreinigungen, Entmischungen, kristalline Komponenten) erfolgte durch mehrere Punktmessungen und Linienmessungen mit stufenweise defokussiertem Elektronenstrahl. Es zeigte sich, daß die Eichproben über eine für die mikroanalytische Bestimmungen mit der Mikrosonde ausreichende Homogenität besaßen. Signifikante Schwankungen von Intensitäten oder Probenstrom traten nur bei Linienmessungen bei niedrigen Meßgeschwindigkeiten auf. Diese Schwankungen traten bei einer Erhöhung der Meßgeschwindigkeit auf $80\text{-}90 \mu\text{m}/\text{min}$. zurück und sind daher nur auf die Probenveränderungen unter Einwirkung des Elektronenstrahls zurückzuführen.

3.3.3 Elementverteilung in Einzelkristallen

Linienmessungen von Ce-, La-, Nd-, Sm- und Nd- wie auch von Th-Intensitäten in den inneren und äußeren Teilen der Monazit-Kristalle zeigten im Einklang mit den Untersuchungsergebnissen von MURATA (1957) keine bzw. nur

geringfügige Konzentrationsunterschiede, so daß auf eine erforderliche homogene Verteilung von Seltenen Erden und von Th innerhalb der einzelnen Monazitkristalle geschlossen werden kann. Starke Konzentrationsabweichungen von Seltenen Erden und von Thorium gehen auf Einschlüsse (Entmischungen) von Xenotim bzw. Elementen der Yttrium-Untergruppe und von Thorianit (ThO_2) zurück und wurden, bezogen auf die Anschlifffläche der Kristalle, nur relativ selten beobachtet. Eine Einschränkung der Repräsentativität der mikroanalytischen Bestimmung durch diese Inhomogenitäten ist jedoch nicht zu befürchten, weil sie größtenteils bereits bei der Festlegung des Meßpunktes leicht zu identifizieren sind (vgl. 3.3.4).

3.3.4 Mineraleinschlüsse in Monazit

Einzelne Monazitkristalle wurden mit Hilfe des Scanningbildes der rückgestreuten Elektronen (BSE) und der Scanningbilder von Y-, Dy- und Th-Strahlung sowie mit Hilfe von Linienmessungen der Al-, Sn-, Y-, Ta- und Th-Intensität nach Einschlüssen und Inhomogenitäten systematisch durchgemustert (vgl. Tab. 7). Anomale Stellen wurden mit der Mikrosonde im Detail untersucht und die Mineralart bestimmt.

Tab. 7: Die Bestimmung von Einschlüssen in Monazit mit der Mikrosonde (ARL EMX).

Probe	Testelement					Mineral	Korngröße (μm)
	Al	Sn	Y	Ta	Th		
032-I	-	-	+	-	-	Xenotim	3
032-J-1	+	-	-	-	-	Muskovit	3
032-J-2	+	-	-	-	+	verunreinigter Thorit	5
032-H	+	-	-	-	-	Muskovit	3
032-W	-	-	-	-	+	Th-Dispersion	5
080-A	+	-	+	-	-	Y-Dispersion, Muskovit	5
080-D	-	-	-	-	-		
080-E	+	-	+	-	-	Y-Dispersion, Muskovit	3-5
080-G	+	-	-	-	-	Muskovit	6
080-H	+	-	-	-	+	Thorianit, Muskovit	5-7
095	-	-	-	-	-	Muskovit	5
107-A	-	-	-	-	-		
107-B	-	-	+	-	-	Y-Dispersion	5
107-C	-	-	+	-	-	2 Xenotime	4
107-E-1	-	-	-	-	-		
107-E-2	-	-	-	-	-		
107-F	+	-	-	-	-	Muskovit	5
107-G	+	-	+	-	+	Xenotim, Muskovit, Th-Disp.	15-5-3
107-H	-	-	+	-	-	Xenotim	2
125-A	-	-	-	-	-		
125-B	+	-	-	-	-	Muskovit	5
125-C	+	-	+	+	-	Muskovit, Xenotim, Ta-Disp.	3-5-1
125-D	+	-	-	-	-	Muskovit	3
125-M	+	-	+	-	-	Muskovit, Xenotim	3-3
024-A	-	-	+	-	-	Xenotim	4
024-B	-	-	+	-	-	zahlreiche Xenotime	10
024-C	-	-	-	-	-		
024-D	-	-	+	-	-	Xenotim	6
024-E	-	-	+	-	-	zahlreiche Xenotime	20
024-F	-	-	+	-	-	Xenotim-Verwachsung	10
024-G	-	-	+	-	-	2 Xenotime	3
024-H	-	-	+	-	-	Xenotim	2
024-I	-	-	+	-	-	Xenotim	3
014-A	-	-	-	-	-		
014-B	-	-	-	-	-		
014-C	-	-	-	-	-		
014-E	-	-	-	-	-		
014-F	-	-	+	-	-	Y-Dispersion, Quarz	2-20
014-G	-	-	-	-	-		
014-K	-	-	-	-	-		
014-L	-	-	-	-	-		
135-A	+	-	+	-	-	Xenotim, Muskovit	3-4
135-B	+	-	-	-	-	Muskovit	3
135-C	-	-	+	-	-	Xenotim	4
135-E	-	-	-	-	-		
135-F	+	-	-	-	-	Muskovit	5
135-G	-	-	-	-	-	Zirkon (gelbl. Fluoresz.)	50
135-I	-	-	-	-	-	Zirkon	10
161-B	-	-	+	-	-	Y-Dispersion	2
161-F	+	-	+	-	+	Muskovit, Y-Disp., Th-Disp.	5-3-3
161-A	-	-	-	-	+	Thorianit	15

Probe	Testelement					Mineral	Korngröße (μm)
	Al	Sn	Y	Ta	Th		
161-G	+	-	+	-	-	Xenotim, Muskovit, Quarz	3-3-20
161-H	-	-	-	-	-		
161-I-1	-	-	-	-	-		
161-I-2	-	-	-	-	-		
161-E	-	-	-	-	+	Th-Dispersion, Quarz	10-8
166-B	+	-	-	-	-	Muskovit	5
166-J	-	-	+	-	-	Xenotim	6
166-P	-	-	-	-	-	Quarz	8

3.3.4.1 Xenotim und Yttrium-Dispersionen

Die häufigsten Einschlüsse in Monazit werden von Xenotim (YPO_4) gebildet. Die Größe der Xenotim-Einschlüsse bewegt sich überwiegend zwischen 5-10 μm und nur selten treten größere (10-15 μm) Xenotim-Einschlüsse auf. Alle Xenotim-Einschlüsse sind xenomorph ausgebildet.

Darüber hinaus wurden in randlichen Teilen der Monazitkristalle Bezirke mit Y- und Dy-Dispersionen im Bereich 5-15 μm beobachtet. Die Größe der einzelnen Y- und Dy-Punkte in diesen Bezirken liegt oft dicht an der Auflösungs Grenze der Mikrosonde bei 1-2 μm und läßt daher eine Bestimmung der Mineralart nicht mehr zu.

Eine genetische Deutung dieser Dispersionen bzw. Xenotim-Einschlüsse ist schwierig. Das häufigere Auftreten an den Korngrenzen könnte auf Entmischungs-Segregate schließen lassen (RAMDOHR 1975). Diese Deutung läßt sich weiterhin durch den Substitutionsmischkristall-Typ der Monazitkristalle erhärten. Durch die von Seltenen Erden der Cer-Untergruppe deutlich unterschiedlichen Ionenradien und Ionenpotentiale (vgl. Tab. 8) würde eine Entmischung von Y und Dy während der Abkühlungsphase verständlich.

Tab. 8: Ionenradien (\AA) der Lanthaniden, des Y, Th und Ca nach Whittaker/Muntos (1970)

Element	Ladung	KZ	Ionenradius	Element	Ladung	KZ	Ionenradius
La	+3	VI	1,13	Dy	+3	VI	0,99
Ce	+3	VI	1,09	Ho	+3	VI	0,98
Pr	+3	VI	1,08	Er	+3	VI	0,97
Nd	+3	VI	1,06	Tm	+3	VI	0,96
Sm	+3	VI	1,04	Yb	+3	VI	0,95
Eu	+3	VI	1,04	Y	+3	VI	0,98
Gd	+3	VI	1,02	Th	+4	VI	1,08
Tb	+3	VI	1,00	Ca	+2	VI	1,08

3.3.4.2 Thorianit und Thorium-Dispersionen

Anomale Th-Anreicherungen treten zonal an den Grenzen von Y- und nur selten als selbständige Thorianitkristalle auf. Die Größe der Th-Säume liegt bei 5-8 μm . Selten erreichen Thorianit-Einschlüsse eine Größe über 10 μm . Hierbei scheint die Größe der Thorianit-Einschlüsse der Größe der Wirtkristalle direkt proportional zu sein. Die enge räumliche Bindung von Th-Einschlüssen an Dy und Y spricht gleichfalls für eine Entstehung als "einfache Entmischung".

Detailuntersuchungen von einzelnen großen Monazitkristallen (ca. 8 mm) führten zum Nachweis idiomorpher und kristallographisch orientierter (parallel 100 und 010) Thorianit-Einschlüsse von bis 100 μm Größe, die als Umrandung Si-Säume von 2-5 μm Breite besitzen (Taf. 2, Fig. 1-5). Diese enge räumliche Bindung von Si an Th im Bereich der Thorianit-Einschlüsse läßt die Annahme zu, daß der Einbau von Th^{4+} durch Ladungsausgleich bei dem diadochen Ersatz von PO_4^{3-} durch SiO_4^{4-} für die Bildung dieser Thorianit-Einschlüsse bestimmend ist. Demgegenüber scheint der Einbau von Th^{4+} in das Monazitgitter als Ersatz von Ce^{3+} mit dem Ladungsausgleich durch Ca^{2+} während der Abkühlung stabil zu sein.

3.3.4.3 Andere Mineraleinschlüsse

Die Untersuchungen mit der Mikrosonde führten weiterhin zum Nachweis der Einschlüsse von Muskovit, Quarz, Apatit und Zirkon, die teilweise in idiomorpher Ausbildung (Zirkon) auftreten (vgl. Tab. 7).

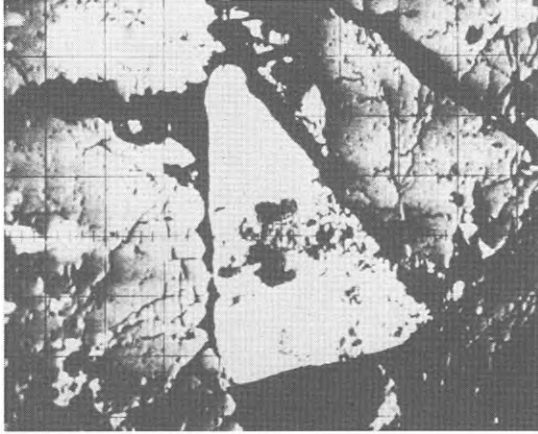


Fig. 1: BSE

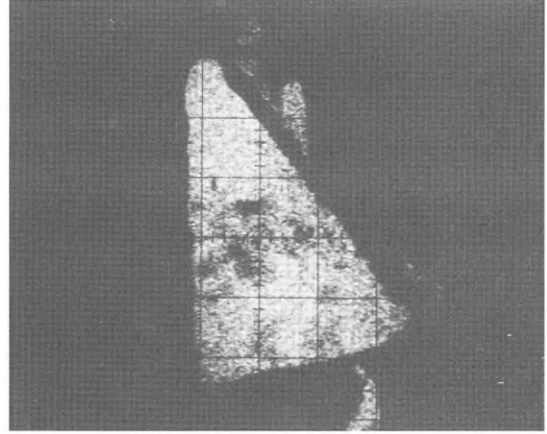
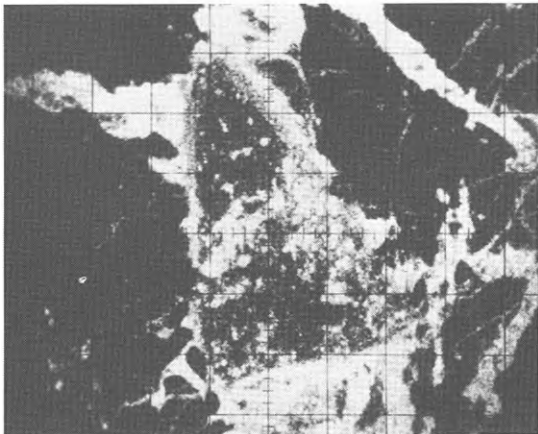
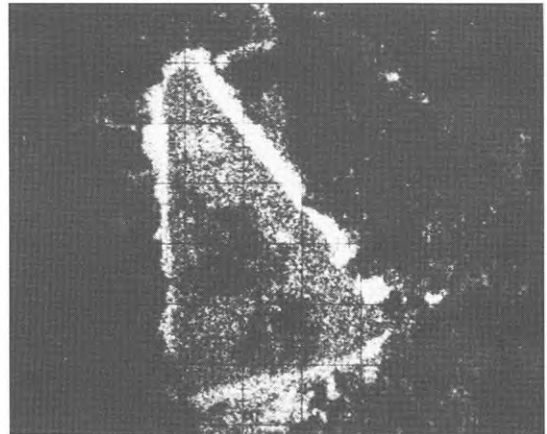
Fig. 2: Th M_{α} IFig. 3: Fe K_{α} IFig. 4: Si K_{α} I

Fig. 1 - 4: BSE- und Röntgen-Scanningbilder. Idiomorpher Thorianit-Einschluss mit Saum von Si in Monazit aus Nb-Ta-Sn-Pegmatit (Thung Kamin Mine, Takua Pa, Süd-Thailand).
Vergr.: 30 $\mu\text{m}/\text{cm}$

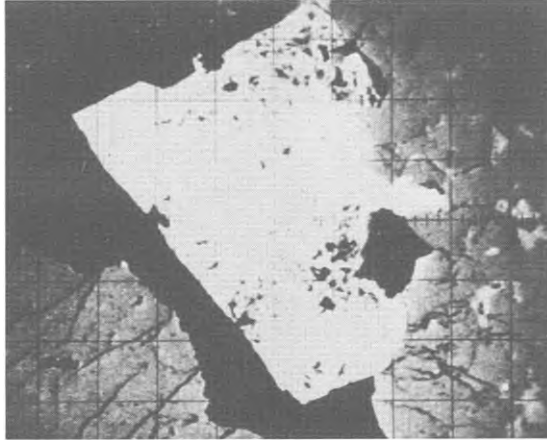


Fig. 5:

BSE-Bild von idiomorphem Thorianit-Einschluß in Monazit aus Nb-Ta-Sn-Pegmatit (Thung Kamin Mine, Takua Pa, Süd-Thailand)

4. ANALYSENERGEBNISSE: ELEMENTVERTEILUNG IN MONAZITEN

Durch die Serienanalyse sollen in erster Linie die Verteilungen von La+Ce+Pr und Ce/(Nd+Y) wie auch von Thorium und Calcium in allen thailändischen Monaziten, insbesondere aber in den Monaziten aus Greisen- und Imprägnationslagerstätten, aus Li- und Nb-Ta-Sn-Pegmatiten und aus den wichtigen thailändischen Granittypen, dargestellt werden.

4.1 Mittelwerte und Variationsspannen von La+Ce+Pr, Ce/(Nd+Y), Th und Ca in allen Monazitproben

Die Häufigkeitsanalyse der Elementverteilung aller Monazitproben (N=192) ergab, daß mit Ausnahme von Calcium mehrgipfelige Verteilungen vorliegen, die auf eine stark inhomogene Zusammensetzung des Probenmaterials schließen lassen. Eine Auswertung des Probenmaterials nach genetischen Gruppen erweist sich daher als notwendig.

Die starke Inhomogenität des Probenmaterials läßt sich in erster Linie durch die hohe Beteiligung der detritischen Monazite aus den fluviatilen Zinnseifen erklären. Durch diese Beteiligung reicht auch eine Anzahl von 192 Analysen nicht aus, um den statistischen Trend zu erfassen.

Die Charakterisierung der Elementverteilung mit den Parametern der Normalverteilung wie sie erfolgt, geht vor allem auf die traditionelle Verfahrensweise zurück (MURATA 1953, FLEISCHER et ALTSCHULER 1969) und soll daher in erster Linie einen Vergleich mit den Angaben von anderen Autoren ermöglichen.

Wie aus der Tab. 9 ersichtlich, wurde für die Gesamtanzahl von thailändischen Monaziten eine Variationsspanne ($\pm 2s$) der La+Ce+Pr-Verteilung von 61,9 bis 79,9 Atom.-% und der Ce/(Nd+Y)-Verteilung von 0,97 bis 2,97 ermittelt (vgl. auch Abb. 4). Beide Variationsspannen weisen eindeutig auf Granite und granitische Differentiate als Liefergesteine der thailändischen Monazite hin (vgl. MURATA 1953, FLEISCHER et ALTSCHULER 1969).

Der Höchstwert der Variationsspanne $x_{\min} - x_{\max}$ bei 90,5 Atom.-% (vgl. Tab. 9) La+Ce+Pr und die vereinzelt auftretende hohe La+Ce+Pr-Werte von z.B. 88,8 bzw. 80,7 Atom.-% lassen demgegenüber auch auf eine Beteiligung basischen Lieferquellen schließen. Ausgehend von der Untersuchungen von MURATA (1957) müßten für Monazite mit La+Ce+Pr-Wert über 80 Atom.-% als Liefergesteine nur Karbonatite bzw. Alkaligesteine infrage kommen. Wie Detailuntersuchungen der Lieferquellen zeigten, handelt es sich jedoch um Sn-Pegmatite (Sutut Mine, Phuket).

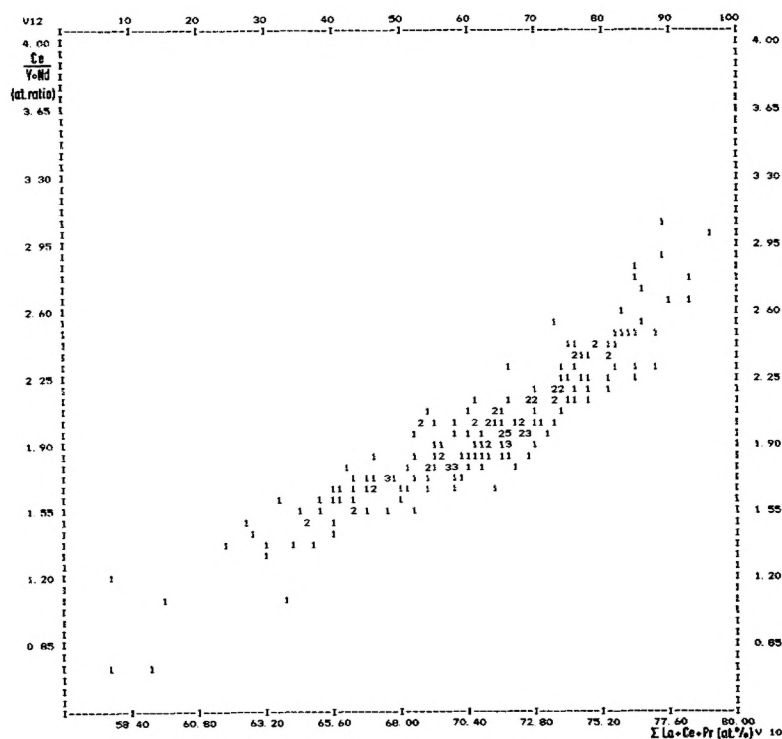


Abb. 4:
Korrelationsdiagramm
Ce/(Nd+Y)/La+Ce+Pr von
allen Monaziten mit
La+Ce+Pr-Wert < 80 Atom.-%
(Bereich Granite-gran.
Differentiate)

Die hohe bis extrem hohe La+Ce+Pr-Konzentration steht hier daher in einem krassen Gegensatz zu dem pegmatitischen Typus des Liefergesteins dieser Monazite. Sie weicht prinzipiell von dem allgemeinen Trend der Fraktionierung der Seltenen Erden im Verlauf der magmatischen (granitischen) Differentiation ab.

Wegen dieser geochemischen Divergenz müssen diese Pegmatite als eine besondere Gruppe der Liefergesteine von thailändischen Monaziten neben Graniten und übrigen granitischen Differentiaten behandelt werden (vgl. Abschnitt 4.4.1.1).

Die Th-Verteilung in allen Monaziten weist eine Variationsspanne $\bar{x} \pm 2s$ von 1,0 bis 11,4 Gew.-% auf. Ähnlich wie die La+Ce+Pr-Verteilung läßt sie jedoch nicht auf "reine" Gruppenkollektive schließen. Demgegenüber liegt bei Ca eine lognormale Verteilung vor mit dem geometrischen Mittel von 0,3 und mit dem Modus von 0,1 Gew.-% Ca. Beide Werte weisen auf die grundsätzlich niedrigen Ca-Gehalte von thailändischen Monaziten hin. Die Variationsspanne $x_{\min} - x_{\max}$ liegt zwischen 0,0 und 7,4 Gew.-% Ca. Wie aus den genetisch differenzierten Untersuchung der Ca-Verteilung hervorgeht (vgl. Abschnitt 4.4.3), besteht aber kaum die Möglichkeit, das Element Ca als Elementindikator zu benutzen, weil auch Monazite aus Zinnerzen weit über den Durchschnitt erhöhte Ca-Gehalte aufweisen (vgl. Abschnitt 4.4.3).

Tab. 9: Mittelwerte (\bar{x}), Standardabweichung (s), Variationsspannen der Seltenen Erden und der La+Ce+Pr-, Ce/(Nd+Y)-, Th- und Ca-Werte in der Gesamtzahl der thailändischen Monaziten (N = 192)

Element	\bar{x}	s	Variationsspannen	
			$\bar{x} \pm 2s$	$x_{\min} - x_{\max}$
La (Atom.-%)	18,9	3,0	12,9-24,9	12,4-36,3
Ce (-)	47,0	4,2	38,6-55,4	24,9-56,4
Pr (-)	4,9	0,8	3,3- 6,5	2,9- 7,1
Nd (-)	21,1	2,8	15,5-26,7	18,1-31,9
Sm (-)	3,6	1,3	1,0- 6,2	0,2- 7,4
Dy (-)	0,7	0,4	- 0,1- 1,5	0,1- 3,5
Y (-)	3,6	2,1	- 0,5- 7,8	0,2-11,9
La+Ce+Pr	70,9	4,5	61,9-79,9	57,5-90,5
Ce/(Nd+Y)	1,97	0,5	0,97-2,97	0,71- 5,96
Th (Gew.-%)	6,2	2,6	1,0-11,4	0,1-15,3
Ca (Gew.-%)	1,4	1,7	- 2,0- 4,8	0,0- 7,4

4.2 Häufigkeitsanalyse der La+Ce+Pr-Konzentration in akzessorischen Monaziten

Zur Ermittlung von statistisch "reinen" Gruppenkollektiven bzw. genetisch homogenen Monazitgruppen wurde eine Häufigkeitsanalyse der La+Ce+Pr-Verteilung nach genetischen Gruppen durchgeführt.

4.2.1 Ergebnisse der Häufigkeitsanalyse in pneumatolytischen Zinnerzen und in pneumatolytisch geprägten Granittypen

Die Häufigkeitsanalyse der La+Ce+Pr-Verteilung in der Gruppierung von akzessorischen Monaziten aus Greisen-, Imprägnationslagerstätten, Muskovit- und Turmalin-Graniten führte zum Nachweis von zwei statistisch reinen Gruppenkollektiven.

Wie aus der Summenkurve (Abb. 10 und Abb. 11) dieser Gruppierung hervorgeht, handelt es sich um zwei *n o r m a l* verteilte Gruppenkollektive mit verschiedenem Zentralwert und relativ ähnlicher Streuung. Die Grundspanne (95 % aller Werte) der Summenkurve von 63,1 bis 76,6 Atom.-% La+Ce+Pr erfaßt hierbei praktisch die Variationsspanne $\bar{x} \pm 2s$ von allen thailändischen Monaziten (61,9-79,9 Atom.-% La+Ce+Pr).

Ausgehend von der guten Obereinstimmung der beiden Konzentrationsspannen und im Hinblick auf die statistisch ausreichende Anzahl der Analysenwerte in der Gruppierung (N=67), läßt sich diese symmetrische, bimodale Verteilung als charakteristisch für Monazite aus thailändischen Zinnbergbaugebieten bezeichnen.

Aus dem Vergleich dieser bimodalen Verteilung mit dem genetischen Typ der Monazitproben ergibt sich, daß Monazite aus lagerstättengenetisch bzw. petrographisch homogenen Gruppen (Greisen-, Imprägnationslagerstätten, Muskovit- und Turmalin-Granite) in beiden Gruppenkollektiven auftreten. Daraus folgt, daß in jeder dieser Gruppen genetisch zwei verschiedene Monazitgruppen auftreten und daß die Charakterisierung dieser Gruppen nicht durch die einfache Mittelwertbildung, sondern durch zwei auf die beiden Gruppenkollektive bezogene Mittelwerte erfolgen muß.

Die rechnerische Auflösung dieser beiden Gruppenkollektive (Abb. 11) (SCHROLL 1977) erbrachte folgende charakteristische Mittelwerte (\bar{x}) und Variationsspannen:

Gruppenkollektiv	Mittelwert (\bar{x}) (La+Ce+Pr)	Variationsspanne (La+Ce+Pr(95%)
I (Generation I), magmatisch	73,9	69,5 - 78,3
II (Generation II), postmagmatisch	66,5	63,0 - 69,9

Wie in der Aufstellung bereits vermerkt, werden beide Gruppenkollektive nach dem Absolutbetrag ihrer Mittelwerte und Variationsspannen als zwei verschiedene Monazitgenerationen aufgefaßt. Diese Auffassung geht von bekannten Konzentrationsspannen von La+Ce+Pr in akzessorischen Monaziten im granitischem Bereich aus (FLEISCHER et ALTSCHULER 1969). Der Mittelwert von 73,9 Atom.-% La+Ce+Pr weist hierbei auf eine magmatische Monazitgeneration und der Mittelwert von 66,5 Atom.-% La+Ce+Pr auf eine postmagmatische Monazitgeneration hin. Auf das Auftreten einer postmagmatischen Monazitgeneration in Thailand wurde bereits hingewiesen durch die Untersuchungen von ARANYAKANON (1961), der in Zinnerzen aus den Haad Som Pan-Zinnerzlagertstätten Hübneritverdrängungen durch Monazit nachgewiesen hatte. Durch diese Untersuchung und durch die Herkunft der Monazite aus pneumatolytischen Zinnerzen bzw. aus pneumatolytisch geprägten Graniten, läßt sich diese postmagmatische Monazitgeneration näher als pneumatolytisch bezeichnen. Wie aus den bisherigen geochemischen Untersuchungen an akzessorischen Monaziten hervorgeht (FLEISCHER et ALTSCHULER), wurden fast ausnahmslos Monazite aus zinnfreien Granitprovinzen und insbesondere aus amerikanischen Granitprovinzen untersucht. Weil diese Untersuchungen nicht von zwei Monazitgenerationen ausgehen, kann angenommen werden, daß diese Monazitgenerationen für die zinnführende südostasiatische Provinz charakteristisch sind.

Das Auftreten von magmatischen und postmagmatischen Monaziten zeigt, daß zwischen Graniten mit akzessorischen Monazit und Zinnerlagerstätten ein enger genetischer Zusammenhang besteht. Es erscheint wahrscheinlich, daß die sog. Zinngranite in Südostasien insgesamt einen über den Granitdurchschnitt hinaus erhöhten Gehalt von Seltenen Erden aufzuweisen haben.

Abb. 10:

Bimodale Summenhäufigkeitskurve der La+Ce+Pr-Gehalte in akzessorischen Monaziten aus pneumatolytischen Zinnerzen und aus pneumatolytisch geprägten Granittypen.

(Imprägnations-, Greisenlagerstätten, Muskovit-, Turmalin-Granite, N = 57).

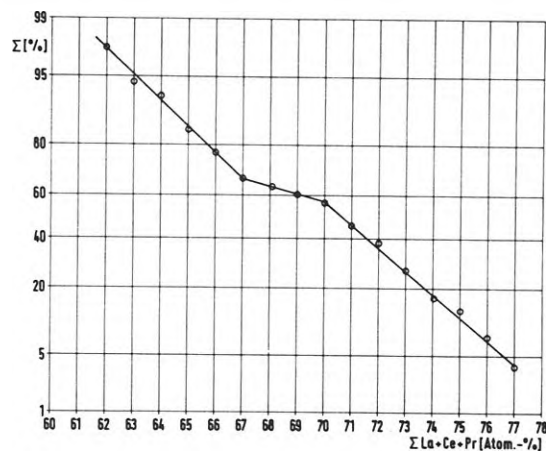
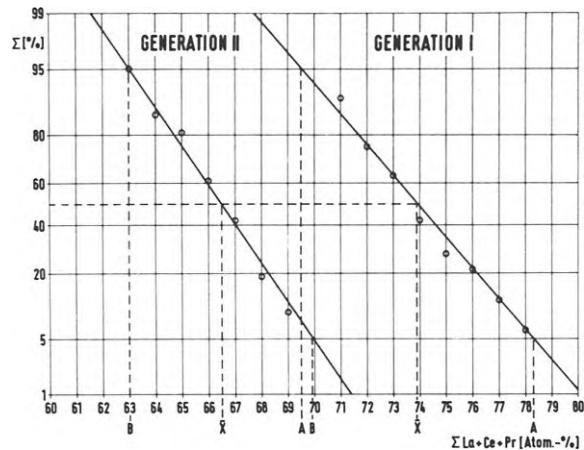


Abb. 11:

Zerlegte bimodale Summenhäufigkeitskurve zeigt Mittelwerte (\bar{x}) und Variationsspannen der magmatischen (I, AA) und postmagmatischen (II, BB) Monazitgeneration.



4.3 Elementverteilung in Monaziten aus thailändischen Graniten

Die bisherigen Bestimmungen der Konzentrationsspanne x_{\min} - x_{\max} von La+Ce+Pr in Monaziten aus granitischen Gesteinen erbrachten Werte von 61,3 bis 72,2 Atom.-% (LEE et BASTRON 1967, Monazite aus Quarz-Monzoniten und Granodioriten des Mt. Wheeler Gebirges, Nevada, USA), von 61,0 bis 83,0 Atom.-% (FLEISCHER et ALTSCHULER 1969, Monazite aus 108 Graniten, 14 Granodioriten und Quarz-Monzoniten), bzw. Durchschnittswerte (\bar{x}) von 74,3 Atom.-% (MURATA 1957, Monazite aus Graniten der Chesterfield County, Virginia, USA) und von 75,8 Atom.-% (FLEISCHER et ALTSCHULER 1969).

Wie jedoch bereits FLEISCHER und ALTSCHULER (1969) bemerkte, sind zur Charakterisierung der gesteinspezifischen La+Ce+Pr-Konzentration in akzessorischen Monaziten die Durchschnittswerte den Variationsspannen x_{\min} - x_{\max} vorzuziehen, weil die Grenzwerte der Variationsspannen nur durch eine geringe Anzahl der Analysendaten beeinflusst werden. Diese Meinung kann bestätigt werden, weil wie bereits erwähnt (vgl. Abschnitt 4.2.1), tritt in den thailändischen Muskovit- und Turmalin-Graniten akzessorisch auch eine pneumatolytische Monazitgeneration auf. Die grundsätzlich niedrigeren Werte von La+Ce+Pr dieser pneumatolytischen Monazitgeneration führen dann zu einer geochemisch falschen Bestimmung der Konzentrationsspanne von La+Ce+Pr in den "echten", also im Bezug auf das Trägergestein syngenetisch gebildeten Monaziten. Im Hinblick auf die Möglichkeit des Auftretens der pneumatolytischen Monazite in granitischen Gesteinen erscheinen daher die Minimalwerte der Konzentrationsspannen bei 61,3 (LEE et BASTRON 1967) bzw. bei 61,0 (FLEISCHER et ALTSCHULER 1969) Atom.-% als nicht granitspezifisch zu sein. Die Durchschnittswerte der La+Ce+Pr bei 74,3 bzw. 75,8 Atom.-% sprechen eher dafür, daß Monazite mit diesen geringen La+Ce+Pr-Werten keine echten magmatischen Bildungen darstellen und dürfen daher nicht zur Charakterisierung der La+Ce+Pr-Verteilung in akzessorischen Monaziten aus granitischen Gesteinen einbezogen werden.

Die Charakterisierung der Verteilung von La+Ce+Pr in den akzessorischen Monaziten aus thailändischen Graniten erfolgt daher nur nach dem Konzentrationsbereich der La+Ce+Pr in magmatischen Monaziten (Generation I, vgl. Abschnitt 4.2.1). Folgerichtig bezieht sich auch die Berechnung der Mittelwerte von Thorium und Calcium auf Monazite, die nach ihrem La+Ce+Pr-Wert in diesem Konzentrationsbereich auftreten, also eindeutig als magmatische Bildungen zu betrachten sind. Zur Charakterisierung der Elementverteilung wird aus oben erwähnten Gründen bei La+Ce+Pr und bei Ce/(Nd+Y) anstelle der traditionellen Konzentrationsspanne x_{\min} - x_{\max} eine statistische Variationsspanne $\bar{x} \pm 2s$ bzw. $\bar{x} \pm s$ verwendet.

4.3.1 Seltene Erden

In der Tab. 11 sind Mittelwerte (\bar{x}), Variationsspannen ($\bar{x} \pm 2s$) und Streuung (s) der La+Ce+Pr- und Ce/(Nd+Y)-Verteilung in akzessorischen Monaziten aus wichtigen thailändischen Granittypen zusammengestellt.

Wie aus dieser Zusammenstellung hervorgeht, lassen sich grundsätzlich zwei Granitgruppen unterscheiden:

- Granitgruppe mit magmatischen und postmagmatischen Monaziten (Muskovit-Granite, Turmalin-Granite)
- Granitgruppe mit nur magmatischen Monaziten (mittelkörniger porphyrischer Biotit-Granit, grobkörniger porphyrischer Biotit-Granit, Biotit-Hornblende-Granit).

Das Auftreten von postmagmatischen Monaziten in Muskovit- und Turmalin-Graniten läßt auf eine Entstehung dieser Granittypen infolge einer postmagmatischen Metasomatose aus älteren Graniten schließen und weist auf ihre enge genetische Beziehungen hin.

Aus dem Vergleich der Mittelwerte und Variationsspannen von La+Ce+Pr bzw. von Ce/(Nd+Y) der magmatischen Monaziten (vgl. Tab. 11), ergibt sich eine Übereinstimmung zwischen Muskovit- und Turmalin-Granit und dem mittelkörnigen porphyrischen Biotit-Granit aus Ranong. Dieser Hinweis auf die enge genetische Beziehung von Muskovit- und Turmalin-Granit zu mittelkörnigem porphyrischen Biotit-Granit aus Ranong, steht im Einklang mit Untersuchungsergebnissen von ARANYAKANON (1961).

Tab. 11: Mittelwerte (\bar{x}), Variationsspannen ($\bar{x} \pm 2s$) und Streuungen (s) von La+Ce+Pr und von Ce/(Nd+Y) in Monaziten aus thailändischen Graniten

Granittyp	La+Ce+Pr (Atom-%)			Ce/(Nd+Y) (Atomquotient)			n
	\bar{x}	$\bar{x} \pm 2s$	s	\bar{x}	$\bar{x} \pm 2s$	s	
Muskovit und Turmalin-Granit							
1. Generation (magmatisch)	74,7	71,3-78,1	1,7	2,50	2,24-2,76	0,13	6
2. Generation (postmagmat.)	64,5	60,9-68,1	1,8	1,57	1,33-1,81	0,12	8
Biotit-Granit, mittelkörnig porphyrisch	74,5	70,1-78,9	2,2	2,28	1,86-2,70	0,21	11
Biotit-Granit, grobkörnig porphyrisch	71,2	67,0-75,4	2,1	1,87	1,45-2,29	0,21	4
Biotit-Granit, Hornblende führend	72,9	68,3-77,5	2,3	2,02	1,44-2,60	0,29	5

Folgerichtig kann daher mittelkörniger porphyrischer Biotit-Granit der Gruppe der Zinngranite zugerechnet werden.

Demgegenüber zeigen die akzessorischen Monazite aus grobkörnigen porphyrischem Biotit-Granit aus Chiang Mai einen Durchschnittswert der La+Ce+Pr von 71,2 Atom.-%, die akzessorischen Monazite aus Biotit-Hornblende-Granit von 72,9 Atom.-%. Diese beiden Granite bilden daher eine selbständige Gruppe, die sich durch geringere La+Ce+Pr-Konzentration in akzessorischen Monaziten von den übrigen Graniten, also von Zinngraniten, unterscheidet.

4.3.2 Thorium

Die Mittelwerte (\bar{x}), Konzentrationsspannen ($x_{\min} - x_{\max}$) und Streuungen (s) von Th-Verteilung (Gew.-%) in akzessorischen Monaziten wichtiger thailändischer Granittypen sind in der Tab. 12 zusammengestellt.

Nach OVERSTREET (1961) weisen akzessorische Monazite aus Zinngraniten in der Regel einen durchschnittlichen Th-Gehalt bis zu 5 %, also einen deutlich geringeren Th-Gehalt als akzessorische Monazite aus zinnfreien Graniten auf. Nach diesem Klassifikationsschema können thailändische Granite in zwei Gruppen eingeteilt werden:

- a) Granite mit Th-armen Monaziten ($\text{Th} < 5 \%$)
- Muskovit-Granit
 - Turmalin-Granit
 - Biotit-Granit, mittelkörnig porphyrisch, aus Ranong
- b) Granite mit Th-reichen Monaziten ($\text{Th} > 5 \%$)
- Biotit-Granit, grobkörnig porphyrisch, aus Chiang Mai
 - Biotit-Granit, Hornblende führend, aus Phuket

Tab. 12: Mittelwerte (\bar{x}), Variationsspannen ($x_{\min} - x_{\max}$) und Streuungen (s) von Thorium und Calcium in Monaziten aus thailändischen Graniten

Granittyp	Thorium (Gew.-%)			Calcium (Gew.-%)			n
	\bar{x}	$x_{\min} - x_{\max}$	s	\bar{x}	$x_{\min} - x_{\max}$	s	
Muskovit-Granit	3,6	3,3-3,9	0,25	0,2	0,0-0,5	0,25	6
1. Generation (magmatisch)	3,6	3,3-3,7		0,1	0,0-0,1		3
2. Generation (postmagmatisch)	3,7	3,4-3,9		0,3	0,0-0,5		3
Turmalin-Granit	4,8	3,4-6,0	0,98	0,4	0,0-0,8	0,30	7
1. Generation (magmatisch)	4,1	3,7-4,5		0,1	0,0-0,1		2
2. Generation (postmagmatisch)	5,0	3,4-6,0		0,5	0,1-0,8		5
Biotit-Granit, mittelkörnig porphyrisch	4,9	3,0-7,2	1,35	0,1	0,0-0,1	0,04	11
Biotit-Granit, grobkörnig porphyrisch	6,2	5,3-7,0	1,73	1,7	1,0-2,6	0,71	4
Biotit-Granit, Hornblende führend	8,3	6,8-9,1	1,00	2,0	1,0-4,5	1,56	5

In Anlehnung an OVERSTREET (1961) können daher die Muskovit-, Turmalin- und Biotit-Granite aus Ranong nach dem niedrigen Th-Gehalt in akzessorischen Monaziten als Zinngranite eingestuft werden. Demgegenüber lassen sich Biotit-Granit (mittelkörnig porphyrisch) aus Ranong und Biotit-Hornblende-Granit aus Phuket als zinnfreie Granite bezeichnen. Es ist auffallend, daß nach dieser Klassifikation der mittelkörnige, porphyrische Biotit-Granit wie bei der Klassifikation nach der La+Ce+Pr-Verteilung in akzessorischen Monaziten, eine gemeinsame Gruppe mit dem Muskovit- und Turmalin-Granit bildet. Das wiederholte Auftreten dieses Biotit-Granits aus Süd-Thailand in der gemeinsamen Gruppe mit den zinnführenden Muskovit- und Turmalin-Graniten deutet auf seine besondere genetische Rolle bei der Bildung von endogenen Zinnerzlagern in Thailand hin.

Über die Beziehung der thailändischen Zinngranite zu den Zinngraniten anderer geologischer Provinzen nach der ThO_2 -Verteilung in akzessorischen Monaziten gibt die Tab. 13 Auskunft. Wie aus diesem Vergleich hervorgeht, lassen sich hinsichtlich der ThO_2 -Konzentration in akzessorischen Monaziten keine signifikanten Unterschiede zwischen Zinngraniten aus Thailand und den aus anderen geologischen Provinzen feststellen bzw. akzessorische Monazite aus thailändischen Zinngraniten weisen nur geringfügig erhöhte ThO_2 -Gehalte auf.

Tab. 13: Vergleich der ThO_2 -Gehalte (Gew.-%) in akzessorischen Monaziten aus thailändischen Zinngraniten und aus Zinngraniten anderer geologischer Provinzen

Gesteinstyp	Land/Region	ThO ₂ (\bar{x})	n	Quelle
Muskovit-Granit	Thailand	4,1	6	1
Turmalin-Granit	Thailand	5,5	7	1
Biotit-Granit	Thailand/Ranong	5,6	11	1
Granit	Thailand	5,7	2	2
Granit	Malaysia	5,1	14	2
Granit	Indonesien	1,7	4	2
Granit	Austr./N.S.Wales	4,1	-	2
Granodiorit, Granit	Austr./Tasmanien	3,0	3	2
Granit	R. Süd-Afrika	3,5	3	2
Granit	USA/Alaska	4,0	1	2

1) vorliegende Arbeit 2) OVERSTREET (1961)

4.3.3 Calcium

Die Mittelwerte (\bar{x}), Variationsspannen ($x_{\min} - x_{\max}$) und Streuungen (s) von Ca-Verteilung (Gew.-%) in akzessorischen Monaziten aus den wichtigen thailändischen Granittypen sind in der Tab. 12 zusammengestellt.

Wie aus dieser Zusammenstellung hervorgeht, lassen sich nach dem Ca-Gehalt in akzessorischen Monaziten gleiche Granitgruppen unterscheiden wie nach den Th- bzw. La+Ce+Pr-Gehalten:

- a) Granite mit Ca-armen Monaziten (Ca < 1 %)
- Muskovit-Granit
 - Turmalin-Granit
 - Biotit-Granit, mittelkörnig porphyrisch, aus Ranong
- b) Granite mit Ca-reichen Monaziten (Ca > 1 %)
- Biotit-Granit, grobkörnig porphyrisch, aus Chiang Mai
 - Biotit-Granit, Hornblende führend, aus Phuket

Diese Gliederung stellt daher eine zusätzliche Bestätigung der geochemischen Signifikanz der Th- bzw. La+Ce+Pr-Verteilung in akzessorischen Monaziten aus thailändischen Graniten dar. Hierbei werden die als Zinngranite bezeichneten Granittypen (Gruppe a) durch akzessorische Monazite mit niedrigen Ca-Gehalten bis zu 1 % gekennzeichnet.

Zusammenfassung: Es läßt sich feststellen, daß die geochemischen Untersuchungen an akzessorischen Monaziten aus wichtigen thailändischen Granittypen eine deutliche Gliederung der Granite ergaben, die sich in der Verteilung der Elemente Th und Ca und der Parameter La+Ce+Pr und Ca/(Nd+Y) ausdrückt. Diese Verteilungen lassen 2 Granitgruppen erkennen, die durch deutliche Gehaltsunterschiede voneinander zu trennen sind. Hierbei unterscheidet sich die Gruppe der Zinngranite mit Muskovit-, Turmalin- und Biotit-Granit aus Ranong von der Gruppe der übrigen ("zinnfreien") Granite mit grobkörnigen porphyrischen Biotit-Graniten aus Chiang Mai und Biotit-Hornblende-Granit aus Phuket durch höhere La+Ce+Pr-Werte ($\bar{x} = 74,5$ bzw. $74,7$ Atom.-%) und wesentlich geringere Th- (< 5 Gew.-%) und Ca- (< 1 Gew.-%) Werte in akzessorischen Monaziten.

4.4 Elementverteilung in Monaziten aus thailändischen Zinnerzen

Über Elementbestimmungen an akzessorischen Monaziten aus Zinnerzen liegen z.Z. keine Angaben vor. Die Bestimmungen von Sigma-Index an Monaziten aus als Granitpegmatiten bezeichneten Gesteine ergaben bei FLEISCHER et ALTSCHULER (1969) im Durchschnitt etwas niedrigere Werte (70,3 Atom.-% La+Ce+Pr) gegenüber Monaziten aus Graniten.

ZHIROV et al. (1961) und KALITA (1959) lieferten Sigma-Werte von 60,7, 64,8, 60,8, 64,8 und 58,0 Atom.-% La+Ce+Pr für akzessorische Monazite aus Pegmatiten des kristallinen Grundgebirges in Nordwest- und Südwest- und Nord-Karelien (Archean-Marealbian), die deutlich geringer sind als in Monaziten aus Graniten (vgl. FLEISCHER et ALTSCHULER 1969).

4.4.1 Seltene Erden

Die Mittelwerte (\bar{x}), Variationsspannen ($\bar{x} \pm 2s$) und Streuungen (s) von geochemischen Indizes La+Ce+Pr und Ca/(Nd+Y) in akzessorischen Monaziten aus thailändischen Zinnerzen werden getrennt nach pneumatolytischen und pegmatitischen Zinnerzen in den Tab. 14 und 15 zusammengestellt.

Wie aus dieser Zusammenstellung hervorgeht, lassen sich in allen untersuchten Lokalitäten der pneumatolytischen Zinnerze der Greisen- und Imprägnationslagerstätten, Monazite der magmatischen und Monazite der postmagmatischen Generation unterscheiden.

Demgegenüber ist diese Unterscheidung bei pegmatitischen Zinnerzen schwierig bzw. Monazite der postmagmatischen Generation treten nur sporadisch auf. Im Sn-Pegmatit in der Tanti Ko Vit Mine/W in Phuket, Süd-Thailand, konnten nach der Verteilung von La+Ce+Pr wie auch nach der Verteilung von Ce/(Nd+Y) keine postmagmatischen Monazite festgestellt werden.

Daher kann auf eine nur geringfügige Beeinflussung von thailändischen Sn-Pegmatiten durch postmagmatische Prozesse geschlossen werden. Darüberhinaus treten in Nb-Ta-Sn-Pegmatit in der Sutut Mine in Phuket, Monazite mit extrem hohen La+Ce+Pr- ($\bar{x} = 83,9$ Atom.-%) bzw. Ce/(Nd+Y)-Werten auf. Die genetische Bedeutung dieser Monazite wird im Abschnitt 4.4.1.1 getrennt behandelt.

Die Durchschnittswerte (\bar{x}) und Variationsspannen ($\bar{x} \pm s$) von Sigma magmatischen Monaziten aus pneumatolytischen Zinnerzen bei 73,4 Atom.-% bzw. von 70,0 bis 77,2 Atom.-% und in postmagmatischen Monaziten bei 66,2 bzw. von 61,7 bis 69,9 Atom.-% stimmen weitgehend mit denen von magmatischen und postmagmatischen Monaziten aus Muskovit- und Turmalin-Graniten überein (vgl. Tab. 11). Diese Übereinstimmung wie auch das Auftreten von postmagmatischen Monaziten sowohl in pneumatolytischen Zinnerzen als auch in Muskovit- und Turmalin-Graniten weist auf die enge genetische Beziehung zwischen pneumatolytischen Zinnvererzungen und Muskovit- und Turmalin-Graniten bzw. auf ihre ähnlichen Entstehungsbedingungen infolge einer postmagmatischen Metasomatose hin.

Die Maximalwerte der Variationsspannen und teilweise auch Durchschnittswerte von La+Ce+Pr zeigen weiterhin eine weitgehende Ähnlichkeit zwischen magmatischen Monaziten aus pneumatolytischen Zinnerzen und Monaziten aus mittelkörnigem porphyrischem Biotit-Granit aus Haad Som Pan, Ranong (vgl. Tab. 11) und Unterschiede zu Monaziten aus den übrigen Biotit-Graniten in Thailand. Diese Übereinstimmung kann als ein zusätzlicher Hinweis auf die Bedeutung dieses Biotit-Granittyps bei der Entstehung der thailändischen Zinnvererzungen bewertet werden. Im Einklang mit ARANYAKANON (1961) läßt sich daher seine Zugehörigkeit zu der Gruppe von sogenannten Zinngraniten bestätigen.

Tab. 14: Mittelwerte (\bar{x}), Variationsspannen ($\bar{x} \pm s$) und Streuungen (s) von La+Ce+Pr in akzessorischen Monaziten aus thailändischen Zinnerztypen

Zinnerze	La+Ce+Pr (Atom.-%)						n(1)	n(2)
	magmatische Monazite			postmagmatische Monazite				
	\bar{x}	$\bar{x} \pm s$	s	\bar{x}	$\bar{x} \pm s$	s		
a) Imprägnative Zinnvererzungen und Greisen								
(7) Hoey Siang Mine	72,5	71,2-73,8	1,3	65,3	63,2-67,4	2,1	17	5
(9) Chalerm Mine	74,5	71,7-77,3	2,8	67,4	65,7-69,1	1,7	5	9
(6) Tawat Mine	72,7	70,2-75,2	2,5	67,7	64,6-70,8	3,1	3	2
(20) Haad Som Pan Mine	74,7	73,0-76,4	1,7	64,5	62,7-66,3	1,8	2	5
Gesamt	73,4	71,6-75,2	1,8	66,2	64,0-68,4	2,2	27	21
b) Sn-Pegmatite								
(1) Sn-Pegmatit (Tanti Ko Vit Mine/W)	75,9	75,2-76,6	0,7				4	
(2) Li-Sn -Pegmatit (Tanti Ko Vit Mine/E)	71,4	71,1-71,7	0,3				3	
(3) Nb-Ta-Sn-Pegmatit (Sutut Mine)	83,9	74,1-93,8	9,8	67,6			3	1

Tab. 15: Mittelwerte (\bar{x}), Variationsspannen ($\bar{x} \pm s$) und Streuungen (s) von Ce/(Nd+Y) in akzessorischen Monaziten aus thailändischen Zinnerzen

Zinnerze	Ce/(Nd+Y) (Atomquotient)						n(1)	n(2)
	magmatische Monazite			postmagmatische Monazite				
	\bar{x}	$\bar{x} \pm s$	s	\bar{x}	$\bar{x} \pm s$	s		
a) Imprägnative Zinnvererzungen und Greisen								
(7) Hoey Siang Mine	2,04	1,88-2,20	0,16	1,50	1,37-1,63	0,13	17	5
(9) Chalerm Mine	2,51	2,11-2,91	0,40	1,71	1,55-1,87	0,16	5	9
(6) Tawat Mine	2,10	2,01-2,19	0,09	1,61	1,39-1,83	0,22	3	2
(20) Haad Som Pan Mine	2,50	2,37-2,63	0,13	1,57	1,45-1,69	0,12	2	5
Gesamt	2,22	1,92-1,52	0,30	1,62	1,45-1,79	0,17	27	21
b) Sn-Pegmatite								
(1) Sn-Pegmatit (Tanti Ko Vit/W)	2,40	2,19-2,61	0,21				4	
(2) Li-Sn-Pegmatit (Tanti Ko Vit/E)				1,77	1,65-1,89	0,12		3
(3) Nb-Ta-Sn-Pegmatit	5,23	4,21-6,25	1,02	1,77	1,64-1,90	0,13	2	2

Innerhalb der Gruppe von pneumatolytischen Zinnerzen lassen sich nach dem Durchschnittswert von La+Ce+Pr (vgl. Tab. 14) zwei Untergruppen unterscheiden. Hierbei zeigen Monazite der magmatischen Generation aus der Hoey Siang Mine (Phuket) und der Tawat Mine (Phuket) mit 72,5 bzw. 72,7 Atom.-% La+Ce+Pr geringere Sigma-Werte als Monazite aus der Chalerm Mine (Phuket) und der Haad Som Pan Mine, (Ranong) (74,5 bzw. 74,7 Atom.-% La+Ce+Pr). Dieser Unterschied weist auf die Möglichkeit einer weiteren genetischen Differentiation innerhalb der Gruppe von pneumatolytischen Zinnerzen hin und macht sich auch in der Verteilung von Thorium und Calcium bemerkbar (vgl. Abschnitt 4.4.2).

Wie aus den bisherigen Darstellungen hervorgeht, beschränkt sich die Bildung von postmagmatischen Monaziten fast ausschließlich auf die Zinnvererzungen von Greisen- und Imprägnationstyp bzw. auf die zinnführenden Muskovit- und Turmalin-Granite.

Diese postmagmatischen Monazite eignen sich daher als Zinnerz- bzw. Zinngranitindikatoren (proximity indicator).

4.4.1.1 Nb-Ta-Sn-Pegmatite

Die Analyse der akzessorischen Monazite aus Nb-Ta-Sn-Pegmatiten aus der Sutut Mine in Phuket, Süd-Thailand, und aus der Tong Kamin Mine in Takua Pa, Süd-Thailand, erbrachte hohe bis extrem hohe, mitunter die höchsten Werte von geochemischen Indizes La+Ce+Pr und Ce/(Nd+Y) in akzessorischen Monaziten aus Thailand. Die Analysendaten von akzessorischen Monaziten aus Nb-Ta-Sn-Pegmatiten sind in der Tab. 16 zusammengestellt. Diese gegenüber granitischen Monaziten erhöhten bis stark erhöhten Werte von La+Ce+Pr und Ce/(Nd+Y) stehen dem Trend der geochemischen Fraktionierung der Seltenen Erden während der magmatischen Differentiation entgegen und stellen daher eine wichtige geochemische Divergenz dar.

Nach Murata's Klassifikation der Magmatiten nach der Höhe der La+Ce+Pr-Werte, müßten für die hier beobachteten La+Ce+Pr-Werte von 88,8 bzw. 90,5 Atom.-% als Liefergesteine nur Alkaligesteine bzw. Karbonatite infrage kommen. Demgegenüber erbrachte die nachträgliche feldgeologische Untersuchung des Pegmatitganges in der Sutut Mine, daß es sich um grobkörnigen Granitpegmatit mit aplitischen Einschaltungen handelt, also daß er in genetischem Zusammenhang mit thailändischen Graniten gesehen werden muß.

Weiterhin muß bemerkt werden, daß akzessorische Monazite aus Nb-Ta-Sn-Pegmatiten eine besondere mineralogische Varietät darstellen, die sich durch hell- bis mittelbraune Farbe und erdiges Aussehen von den hauptsächlich hellgelben und transparenten thailändischen Monaziten unterscheidet. Aus dem Vergleich mit dem großen pegmatitischen Monazitkristall des gleichen mineralogischen Typs aus der Tong Kamin Mine in Takua Pa ergibt sich,

daß die Monazitkörner aus Nb-Ta-Sn-Pegmatit in der Sutut Mine (Korngrößenbereich von 100-200 µm) eindeutig pegmatitische Bildungen sind.

Eine Klärung der Genese von Nb-Ta-Sn-Pegmatiten in Thailand kann anhand der vorliegenden Einzeldaten nur hypothetisch erfolgen. Die Sn-Vererzungen dieser Pegmatite weisen auf einen Zusammenhang mit den übrigen Sn-Vererzungstypen in Thailand und die hohe und geochemisch divergente La+Ce+Pr-Werte in akzessorischen Monaziten auf eine genetische Beziehung zu basischen Gesteinen hin.

Tab. 16: Analysendaten und geochemische Indizes der Monazite aus Nb-Ta-Sn-Pegmatiten in Sutut Mine, Phuket, und Thung Kamin Mine, Takua Pa, Süd-Thailand

Element	Sutut Mine			Thung Kamin Mine	
	1	2	3	4	5
La (Atom.-%)	36,3	35,2	23,3	17,0	19,9
Ce (Atom.-%)	48,8	51,9	43,3	44,5	51,7
Pr (Atom.-%)	3,7	3,4	6,0	6,1	5,9
Nd (Atom.-%)	9,5	8,1	18,6	23,5	16,1
Sm (Atom.-%)	0,2	0,5	3,5	5,2	2,4
Dy (Atom.-%)	0,2	0,3	0,7	0,6	0,5
Y (Atom.-%)	1,3	0,6	4,6	3,0	3,5
La+Ce+Pr	88,8	90,5	72,6	67,6	77,5
Ce/(Nd+Y)	4,52	5,97	1,87	1,68	2,64
Th (Gew.-%)	10,3	3,3	9,1	2,6	8,3
Ca (Gew.-%)	3,5	1,9	0,9	0,1	0,1

4.4.2 Thorium

Mittelwerte (\bar{x}), Variationsspannen ($x_{\min}-x_{\max}$) und Streuungen (s) von Thorium in akzessorischen Monaziten aus thailändischen Zinnerzen sind getrennt nach pneumatolytischen und pegmatitischen Zinnerzen in der Tab. 17 zusammengestellt.

Während die Th-Gehalte von bis 5,0 % in akzessorischen Monaziten aus thailändischen Zinngraniten mit den Th-Gehalten in akzessorischen Monaziten aus Zinngraniten anderer Provinzen übereinstimmen, läßt sich diese Übereinstimmung bei akzessorischen Monaziten aus thailändischen Zinnerzen nur bei magmatischen Monaziten feststellen. Der Durchschnittswert von Th in magmatischen Monaziten aus pneumatolytischen Zinnerzen beträgt hierbei 5,1 Gew.-% und in Monaziten aus pegmatitischen Zinnerzen 5,3 Gew.-%. Die einzelnen Lokalitäten (Hoey Siang Mine, Sutut Mine, Phuket) weisen über diese Werte hinaus leicht erhöhte Th-Gehalte auf.

Gegenüber den magmatischen Monaziten zeigen postmagmatische Monazite grundsätzlich höhere Th-Werte, wobei die Th-Zunahme der Höhe des Th-Wertes in magmatischen Monaziten direkt proportional ist.

Die Lokalitäten der pneumatolytischen Zinnerze lassen sich daher nach der Höhe der Th-Gehalte in magmatischen und in postmagmatischen Monaziten in zwei Gruppen einteilen. Die Lokalität der Chalerm Mine in Phuket und die Lokalität Haad Som Pan in Ranong bilden hierbei eine Gruppe mit niedrigen Th-Gehalten von 3,7 bis 4,9 bzw. 4,1 bis 5,0 Gew.-% und die Lokalität Hoey Siang Mine in Phuket und Tawat Mine in Phuket bilden eine Gruppe mit hohen Th-Gehalten von 6,2 bis 9,0 bzw. von 4,7 bis 8,5 Gew.-%.

Diese Einteilung der Lokalitäten der pneumatolytischen Zinnerze deckt sich mit der Einteilung nach der Höhe des Sigma-Index (vgl. Abschnitt 4.4.1) und, wie die Untersuchung der Ca-Verteilung zeigt, auch mit der Einteilung nach Ca-Gehalten (vgl. Tab. 17 und Abb. 12). Daher kann auf zwei genetisch unterschiedlichen Lagerstättentypen der pneumatolytischen Zinnlagerstätten in Thailand geschlossen werden. In diesem Zusammenhang muß jedoch betont werden, daß hier nicht der Gegensatz zwischen Greisen- und Imprägnationslagerstätten zum Ausdruck gebracht wird.

Tab. 17: Mittelwerte (\bar{x}), Variationsspannen (x_{\min} - x_{\max}) und Streuungen (s) von Thorium und Calcium in akzessorischen Monaziten aus thailändischen Zinnerztypen

Zinnerze	Th (Gew.-%)						Ca (Gew.-%)						n
	magmatische Monazite			postmagmatische Monazite			magmatische Monazite			postmagmatische Monazite			
	\bar{x}	x_{\min} - x_{\max}	s	\bar{x}	x_{\min} - x_{\max}	s	\bar{x}	x_{\min} - x_{\max}	s	\bar{x}	x_{\min} - x_{\max}	s	
a) Imprägnative Zinnvererzungen und Greisen													
(7) Hoey Sinang Mine	6,2	3,5-9,1	2,7	9,0	6,1-12,1	2,5	1,2	0,0-4,5	1,2	3,1	1,7-6,3	2,5	22
(9) Chalerm Mine	3,7	3,1-4,7	0,6	4,9	2,2- 6,9	1,9	0,1	0,0-0,4	0,2	0,3	0,0-0,7	0,4	14
(6) Tawat Mine	4,7	2,8-5,7	1,6	8,5	8,2- 8,8	0,4	1,2	0,1-2,2	1,1	3,5	3,4-3,6	0,1	5
(20) Haad Som Pan Mine	4,1	3,7-4,5	0,6	5,0	3,4- 6,0	1,0	0,1	0,0-0,1	0,1	0,5	0,1-0,8	0,6	7
Gesamt	5,1	2,8-9,1	1,8	6,2	2,2-12,1	2,6	0,9	0,0-4,5	1,1	1,3	0,0-6,3	1,8	48
b) Sn-Pegmatite													
(1) Sn-Pegmatit Tanti Ko Vit Mine/W	4,4	2,0-7,1	2,1				1,4	0,1-2,9	1,3				
(2) Li-Sn-Pegmatit Tanti Ko Vit Mine/E	5,3	1,4-9,2	3,9				0,6	0,1-1,3	0,6				
(3) Nb-Ta-Sn-Pegmatit Sutut-Mine	6,3	2,6-10,3	3,9				1,6	0,1-3,5	1,5				
Gesamt	5,3	1,4-10,3	3,9				1,2	0,1-3,5	1,5				

Wie aus der Verteilung der Th-Gehalte in akzessorischen Monaziten aus den thailändischen Zinnerzen hervorgeht, wird eine mögliche Verwendung von Th-Analysen der detritischen Monazite als geochemische Indikatoren im wesentlichen durch die hohe Th-Gehalte der postmagmatischen Monaziten verhindert. Diese hohen Th-Gehalte liegen im Konzentrationsbereich von Th in akzessorischen Monaziten aus sogenannten zinnfreien Graniten (vgl. Tab. 12).

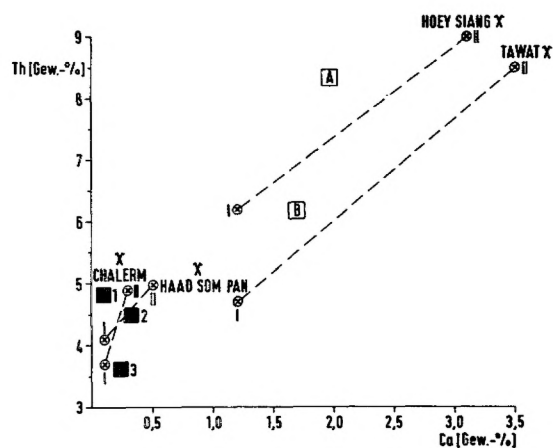


Abb. 12: Th/Ca-Beziehung zwischen magmatischen (I) und postmagmatischen (II) Monaziten aus pneumatolytischen Zinnerzen verschiedener Zinngruben. Monazite beider Generationen weisen in Hoey Siang- und Tawat Mine höhere Th- und Ca-Gehalte als in Chalerm- und Haad Som Pan Mine auf.

(1 = \bar{x} (alle Monazite)-Chalerm Mine, 2 = \bar{x} -Haad Som Pan Mine, 3 = \bar{x} -Muskovit- und Turmalin-Granite, A = \bar{x} -Hoey Siang Mine, B = \bar{x} -Tawat Mine)

4.4.3 Calcium

Mittelwerte (\bar{x}), Variationsspannen ($x_{\min} - x_{\max}$) und Streuungen (s) von Calcium in akzessorischen Monaziten aus thailändischen Zinnerzen sind getrennt nach pneumatolytischen und pegmatitischen Zinnerzen in der Tab. 17 zusammengestellt.

Die akzessorischen Monazite aus thailändischen Zinnerzen weisen insgesamt Ca-Gehalte von 0,0 bis 6,3 Gew.-% auf. Der Durchschnittswert von Ca liegt in pneumatolytischen Zinnerzen bei 0,9 Gew.-%, also über den geom. Mittel (0,3 Gew.-%) für alle Monazitproben aus Thailand. Abgesehen von der starken Variabilität der Ca-Gehalte in akzessorischen Monaziten einzelner Zinngruben, zeigt diese Erhöhung der Ca-Gehalte in Monaziten aus pneumatolytischen Zinnerzen allein, daß das ermittelte geom. Mittel aller Monazitproben von 0,3 Gew.-% nicht für alle Monazite aus Zinnlagerstätten und Zinngraniten charakteristisch ist. Sie zeigt ferner, daß die Verwendung von Ca-Analysen zur Unterscheidung zwischen detritischen Monaziten aus Zinngraniten und Zinnerzen einerseits und der zinnfreien Graniten andererseits nur in sehr beschränktem Maße erfolgen kann.

Ca-Werte in Monaziten aus Pegmatiterzen weisen zwar im Durchschnitt 1,2 Gew.-%, also gegenüber der Monaziten aus pneumatolytischen Zinnerzen etwas erhöhte Ca-Gehalte auf, lassen sich aber nicht im Hinblick auf die starke Streuung von Ca als signifikant bezeichnen.

Die Lokalitäten der pneumatolytischen Zinnerze lassen sich nach der Höhe der Ca-Gehalte gruppieren in Lokalitäten mit niedrigen (Chalerm Mine, Haad Som Pan Mine) und hohen (Hoey Siang Mine, Tawat Mine) Ca-Gehalten in akzessorischen Monaziten beider Generationen. Diese Einteilung deckt sich mit der Einteilung nach Th-Gehalten (vgl. Abschnitt 4.4.2 und Abb. 12). Die genetische Bedeutung der Unterschiede im Ca-Gehalt von den akzessorischen Monaziten aus pneumatolytischen Zinnerzen wurde bereits im Abschnitt 4.4.2 mitbehandelt.

4.5 Geochemische Indizien der Monazite aus Zinngraniten und aus Zinnerzen

Die Zusammenstellung der Durchschnittswerte (\bar{x}) der geochemischen Indizien La+Ce+Pr, Ce/(Nd+Y) und der Durchschnittswerte von Th und Ca in Monaziten aus thailändischen Granit- und Zinnerztypen soll einen Vergleich zwischen Zinngraniten und Zinnerzen einerseits und übrigen Granittypen andererseits ermöglichen und die unterschiedliche Stellung der Zinngranite und Zinnerze hervorheben.

Wie aus dieser Zusammenstellung hervorgeht (vgl. Tab. 18), lassen sich unter thailändischen Granit- und Zinnerztypen nach der Verteilung der Durchschnittswerte von geochemischen Indizien La+Ce+Pr und Ce/(Nd+Y) grundsätzlich drei Gruppen unterscheiden:

- 1) Gruppe mit magmatischen Monaziten (La+Ce+Pr-Wert 80 Atom.-%)
 - Biotit-Granit, grobkörnig porphyrisch
 - Biotit-Granit, Hornblende führend
 - Biotit-Granit, mittelkörnig porphyrisch
 - Sn- Pegmatit
 - Li-Sn-Pegmatit (Stellung unsicher)
- 2) Gruppe mit magmatischen Monaziten (La+Ce+Pr-Wert 80 Atom.-%)
 - Nb-Ta-Sn-Pegmatit
- 3) Gruppe mit magmatischen und postmagmatischen Monaziten
 - Muskovit-Granit
 - Turmalin-Granit
 - Imprägnative Zinnvererzungen und Greisen

Eine Klassifikation nach der Verteilung der Durchschnittswerte von Ce/(Nd+Y) läßt keinen bedeutenden Gruppenwechsel der einzelnen Granit- und Erztypen erkennen (vgl. Tab. 18).

Tab. 18: Mittelwerte (\bar{x}) der geochemischen Indizes La+Ce+Pr und Ce/(Nd+Y) und von Thorium und Calcium in akzessorischen Monaziten aus Graniten und Zinnerzen in Thailand

Monazit-Quelle	La+Ce+Pr		Ce/(Nd+Y)		Th		Ca		n
	magm.	postmagm.	magm.	postmagm.	magm.	postmagm.	magm.	postmagm.	
	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	
a) GRANITE									
Biotit-Granit grobkörn. porphyr.	71,2		1,87		6,2		1,7		4
Biotit-Granit Hornbl. führend	72,9		2,02		8,3		2,0		6
Biotit-Granit mittelkörn. porphyr	74,5		2,28		4,9		0,1		11
Muskovit-Granit	74,7	64,5	2,50	1,57	3,6	3,7	0,1	0,3	6
Turmalin-Granit	74,6	64,7	2,48	1,58	4,1	5,0	0,1	0,5	8
b) ZINNERZE									
Sn-Imprägn., Greisen	73,4	66,2	2,22	1,62	5,1	6,2	0,9	1,3	49
Sn-Pegmatit	75,9		2,40		4,4		0,6		4
Sn-Li-Pegmatit	71,4		1,77		5,3		0,6		3
Nb-Ta-Sn-Pegmatit	83,9		5,23		6,3		1,6		4

Wie aus der Einteilung der thailändischen Granit- und Zinnerztypen nach der Verteilung der Durchschnittswerte von La+Ce+Pr in akzessorischen Monaziten hervorgeht, bilden die als Zinnindikatoren bekannten Muskovit- und Turmalin-Granite mit den imprägnativen Zinnvererzungen und Greisen eine gemeinsame Gruppe, die sich durch das Auftreten von magmatischen und postmagmatischen Monaziten charakterisieren läßt. Bei der Suche nach diesen wichtigen Granit- und Zinnerztypen können daher Monazite als geochemische Indikatoren herangezogen werden.

Weiterhin ergibt sich eine Anwendungsmöglichkeit von Monaziten als geochemische Indikatoren bei der Prospektion von Nb-Ta-Sn-Pegmatiten (Gruppe 2), weil ihre Monazite teilweise hohe bis extrem hohe und geochemisch inkongruente La+Ce+Pr- bzw. Ce/(Nd+Y)-Werte aufweisen.

Demgegenüber bilden Sn- und Li-Sn-Pegmatite keine selbständige Gruppe, sondern treten zusammen mit thailändischen Biotit-Graniten auf. Die Anwendung von Monaziten als Indikatoren bei der Prospektion dieser Zinnerztypen ist daher nicht möglich.

Aus dem Vergleich der Granit- und Zinnerztypen nach den Durchschnittswerten von Th und Ca in akzessorischen Monaziten ergibt sich, daß diese Elemente bei der Zinnerzprospektion nur eine untergeordnete Rolle spielen können. Ergänzend zu den Bestimmungen von geochemischen Indizes La+Ce+Pr bzw. Ce/(Nd+Y) können sie bei einer weiteren Differenzierung der Zinnerztypen Verwendung finden.

5. KLASSIFIKATION DER AKZESSORISCHEN MONAZITE NACH DER ZUSAMMENSETZUNG VON SELTENEN ERDEN MIT CLUSTER-ANALYSE

Die vorgelegte Klassifikation der akzessorischen Monazite aus Graniten und aus Zinnerzen in Thailand nach der Zusammensetzung von Elementen der Seltenen Erden (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Dy, Y) mit Hilfe der Cluster-Analyse soll in erster Linie einen Beitrag zur detaillierteren Klärung der genetischen Beziehungen zwischen verschiedenen thailändischen Granit- und Zinnerztypen leisten insbesondere aber zu der Klärung der genetischen Beziehungen zwischen zinnführenden und zinnfreien Graniten.

5.1 Methode

Die Aufgabe der Cluster-Analyse besteht allgemein darin, eine hierarchisch geordnete Klassifikation von Proben vorzunehmen, die durch mehrere Variable charakterisiert sind. Die grundlegenden Arbeiten über die Methode, mögliche Cluster-Strategien und Anwendungsbereiche stammen von SOKAL et SNEATH (1963) und CAMIN et SOKAL (1965). Die Rechenprogramme CLUSTER stammen von DAVIS (1973) und das Rechenprogramm DENDROGRAPH von McCAMMON et WENNINGER (1970).

Die Klassifikation der Proben erfolgte nach ihrer numerischen Ähnlichkeit. Hierbei geht sie von gegenseitig "ähnlichsten" Proben aus, d. h. von Proben, die das geringste Entfernungsmaß bzw. den geringsten Korrelationskoeffizient aufweisen. Diese Proben werden nach ihrem Eigenwert geordnet, zu Zweiergruppen zusammengefaßt und in weiteren Rechenschritten mit Proben von dem nächst höheren Entfernungsmaß (von der nächst höheren "Ähnlichkeit") in Gruppen (Cluster) verknüpft.

In einem Dendrogramm lassen sich sowohl die Ähnlichkeitsbeziehungen innerhalb der Gruppen (within Group Similarity) wie auch zwischen diesen Gruppen (Between Group Similarity) zweidimensional darstellen. Die Ähnlichkeit der Proben innerhalb einer Gruppe wird hierbei als die Höhe des Ähnlichkeitsmaßes (Entfernungsmaß, Korrelationskoeffizient) auf der Abszisse dargestellt. Die für die vorliegende Fragestellung weitaus wichtigere (Un)Ähnlichkeit zwischen den Gruppen wird als ihr Abstand auf der Ordinate abgetragen. Die Reihenfolge der Gruppen vom Nullpunkt der Ordinate aus wird hierbei nach dem abnehmenden Eigenwert der Proben bestimmt.

Auf die Höhe des Eigenwertes übt die Streuung der Variablen, also im vorliegenden Fall die Variationsspannen der Elemente der Seltenen Erden einen entscheidenden Einfluß auf. Die Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen Monazit-Gruppen werden daher hauptsächlich durch Elemente mit hohen Konzentrationsschwankungen bestimmt (La, Ce, Nd), so daß die Anordnung der Monazit-Gruppen vom Nullpunkt der Ordinate aus überwiegend die Abnahme der Konzentration dieser Elemente reflektiert. Durch eine Zuordnung der Cluster-Verteilung im Dendrogramm zu dem genetischen Typ der klassifizierten Monazitproben läßt sich daher Aussage über geochemische Fraktionierung der Seltenen Erden bzw. über geochemische Divergenz ableiten.

In Anlehnung an die methodischen Untersuchungen der Anwendungsmöglichkeiten der Cluster-Analyse von BÖTTNER (1978) wurde für die vorliegende Cluster-Analyse der thailändischen Monazite nach der Zusammensetzung der Seltenen Erden das Rechenprogramm CLUSTER (DAVIS 1973) und das Rechenprogramm DENDROGRAPH (McCAMMON et WENNINGER 1970) verwendet. Beide Programme arbeiten mit der Cluster-Strategie der ungewichteten paarweisen Gruppierungen (SOKAL et SNEATH 1963).

5.2 Geochemische Gruppen von thailändischen Monaziten

Die mit der Cluster-Analyse klassifizierte Probenreihe umfaßte 66 Monazitproben, die durch die relative Konzentrationen der Elemente Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym, Samarium, Dysprosium und Yttrium charakterisiert sind (7 Variablen).

Monazite aus folgenden Typen der Zinnerzlagertstätten und der Granite wurden berücksichtigt:

Zinnerzlagertstätten:

- | | |
|----------------------------|--|
| a) primäre Lagerstätten: | - imprägnative Zinnvererzungen |
| | - Greisen |
| | - Sn-Pegmatite |
| | - Li-Sn-Pegmatite |
| | - Nb-Ta-Sn-Pegmatite |
| b) sekundäre Lagerstätten: | - eluviale und gen. def. alluv. Seifen |

Granite:

- | | |
|--------------------|---|
| a) Zinngranite: | - Muskovit-Granit |
| | - Turmalin-Granit |
| b) Biotit-Granite: | - Biotit-Granit, mittelkörnig porph. (Ranong) |
| | - Biotit-Granit, grobkörnig porph. (Chiang Mai) |
| | - Biotit-Granit, Hornblende führend (Phuket) |

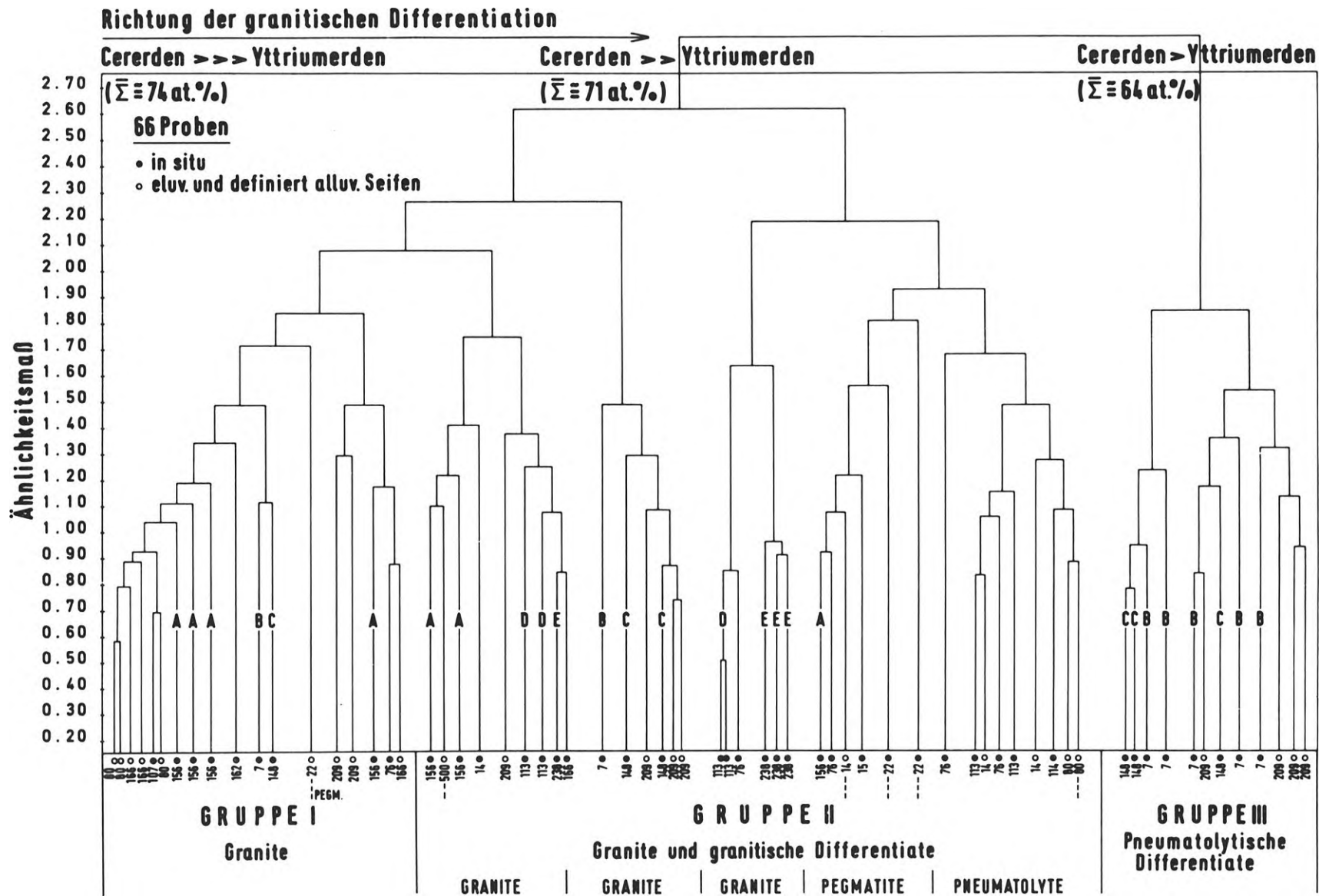


Abb. 13: Geochemische Gruppen von thailändischen Monaziten nach der Zusammensetzung von Seltenen Erden

- A: Biotit-Granit aus Ranong (mittelkörnig porphyrisch),
- B: Muskovit-Granit,
- C: Turmalin-Granit,
- D: Biotit-Hornblende-Granit aus Phuket,
- E: Biotit-Granit aus Chiang Mai (grobkörnig porphyrisch)

Die Darstellung der Ergebnisse der Cluster-Analyse erfolgt im Dendrogramm in der Abb. 13. Wie aus diesem Dendrogramm hervorgeht, folgt die Anordnung der Gruppen (Cluster) von dem Nullpunkt der Ordinate aus der abnehmenden Konzentration von Elementen Lanthan, Cer und Praseodym und zeigt daher von links nach rechts die Richtung der granitischen (magmatischen) Differentiation an.

Wie aus der Zuordnung von genetischen Typen der Monazitproben hervorgeht, läßt ihre Verteilung im Dendrogramm gleichfalls die Richtung der granitischen Differentiation erkennen. Hierbei stehen dem Nullpunkt der Ordinate am nächsten Monazitproben aus Graniten und bilden einen selbständigen Cluster mit einem Durchschnittswert von La+Ce+Pr bei 74 Atom.-% (Gruppe I). Entsprechend der Richtung der granitischen Differentiation und dem Fraktionierungstrend der Seltenen Erden während der granitischen Differentiation stehen die hypothetisch unähnlichsten Monazitproben aus pneumatolytischen Differentiaten (imprägnative Zinnvererzungen und Greisen) am weitesten von dem Nullpunkt der Ordinate entfernt und bilden einen selbständigen Cluster mit einem Durchschnittswert von La+Ce+Pr bei 64 Atom.-% (Gruppe III).

Wie die Darstellung der Ähnlichkeitsbeziehungen im Dendrogramm zeigt, unterscheidet sich diese Gruppe der Monazite aus pneumatolytischen Differentiaten grundsätzlich von allen übrigen Monazit-Gruppen. Demgegenüber zeigt der als Gruppe II bezeichnete Cluster-Verband zwar eine Zwischenstellung an, läßt aber enge Ähnlichkeitsbeziehungen zu den Monaziten aus Graniten erkennen.

Die Anordnung der genetischen Gruppen der akzessorischen Monazite von links nach rechts zeigt, daß die Abnahme der La+Ce+Pr-Konzentration in Monaziten während der granitischen Differentiation zu erst kontinuierlich erfolgt (Gruppe I und Gruppe II) und anschließend durch abrupte Abnahme von La+Ce+Pr eine zusätzliche Monazitgeneration mit niedrigen und zu Gunsten der Yttrium-Erden fraktionierten Seltenen Erden gebildet wird (Gruppe III). Die niedrigen La+Ce+Pr-Werte dieser Monazite und ihre Unähnlichkeit mit allen übrigen Monazit-Gruppen lassen auf eine postmagmatische (pneumatolytische) Monazitgeneration schließen und bestätigen daher die Ergebnisse der Häufigkeitsanalyse der La+Ce+Pr-Werte in dem Kap. 4.2.1.

Aus der Verteilung von Monazitproben in dem Dendrogramm, läßt sich weiterhin das Auftreten von magmatischen und postmagmatischen Monaziten in pneumatolytischen Zinnerzen und in Muskovit- und Turmalin-Graniten bestätigen. Die Monazitproben Nr. 077 (Muskovit-Granit), Nr. 148 (Turmalin-Granit), Nr. 209 (imprägnative Zinnvererzungen mit Greisen in Chalerm Mine, Phuket) treten sowohl in der Gruppe der pneumatolytischen Differentiate (Gruppe III) als auch in Gruppe der Granite (Gruppe I bzw. Gruppe II). Diese Zweiteilung in magmatische und postmagmatische Monazite läßt sich weiterhin aus der Verteilung der Monazit aus den imprägnativen Zinnvererzungen in der Hoey Siang Mine erkennen, wenngleich die postmagmatische Monazitgeneration in der pneumatolytischen Untergruppe der Gruppe II auftritt (Monazitprobe Nr. 80).

Die Stellung von Monazit aus Sn-Pegmatit (Nr. 15, Tanti Ko Vit Mine/W, Phuket) und die Stellung von zwei Monaziten aus Li-Sn-Pegmatit (Nr. 22, Tanti Ko Vit Mine/E, Phuket) im Dendrogramm zwischen Monazitgruppen aus Graniten und aus pneumatolytischen Differentiaten, läßt diese Pegmatittypen als Glieder der untersuchten Differentiationsabfolge erkennen.

Demgegenüber tritt ein Monazit aus Li-Sn-Pegmatit und Monazit aus Nb-Ta-Sn-Pegmatit (Nr. 500, Tong Kamin Mine, Takua Pa) unter granitischen Monaziten auf und weist daher auf die geochemisch divergente Stellung der Nb-Ta-Sn-Pegmatite (vgl. Abschnitt 4.4.1.1) bzw. auf die bereits erwähnte Unsicherheit bei der genetischen Zuordnung von Li-Sn-Pegmatite hin.

5.3 Geochemische Beziehungen zwischen Zinn- und Biotit-Graniten

Im Dendrogramm in Abb. 14 werden gegenseitige Beziehungen zwischen Zinn- und verschiedenen Typen von Biotit-Graniten dargestellt. Wie diese Darstellung zeigt, läßt sich zwischen Zinngraniten und mittelkörnigem porphyrischem Biotit-Granit aus Ranong eine Übereinstimmung im Variationsbereich der magmatischen Monazite feststellen. Demgegenüber zeigen magmatische Monazite aus übrigen Biotit-Graniten abweichende Variationsbereiche.

Die Position der magmatischen Monazite aus Zinngraniten und mittelkörnigem porphyrischem Biotit-Granit aus Ranong, linksaußen im Dendrogramm, bringt im Vergleich mit Monaziten aus übrigen Biotit-Graniten die relativ höchste La+Ce+Pr-Werte dieser Monazite zum Ausdruck. Das Auftreten von magmatischen Monaziten in Zinngraniten und in Biotit-Granit aus Ranong mit charakteristisch hohen La+Ce+Pr-Werten (vgl. Tab. 11) weist nicht nur hin auf die Möglichkeit der Entstehung von Zinngraniten aus diesem Typ von Biotit-Granit, sondern auch auf die gleiche geochemische Spezialisierung.

GEOCHEMISCHE FRAKTIONIERUNG der LANTHANIDEN in MONAZIT

(Richtung der granitischen Differentiation)

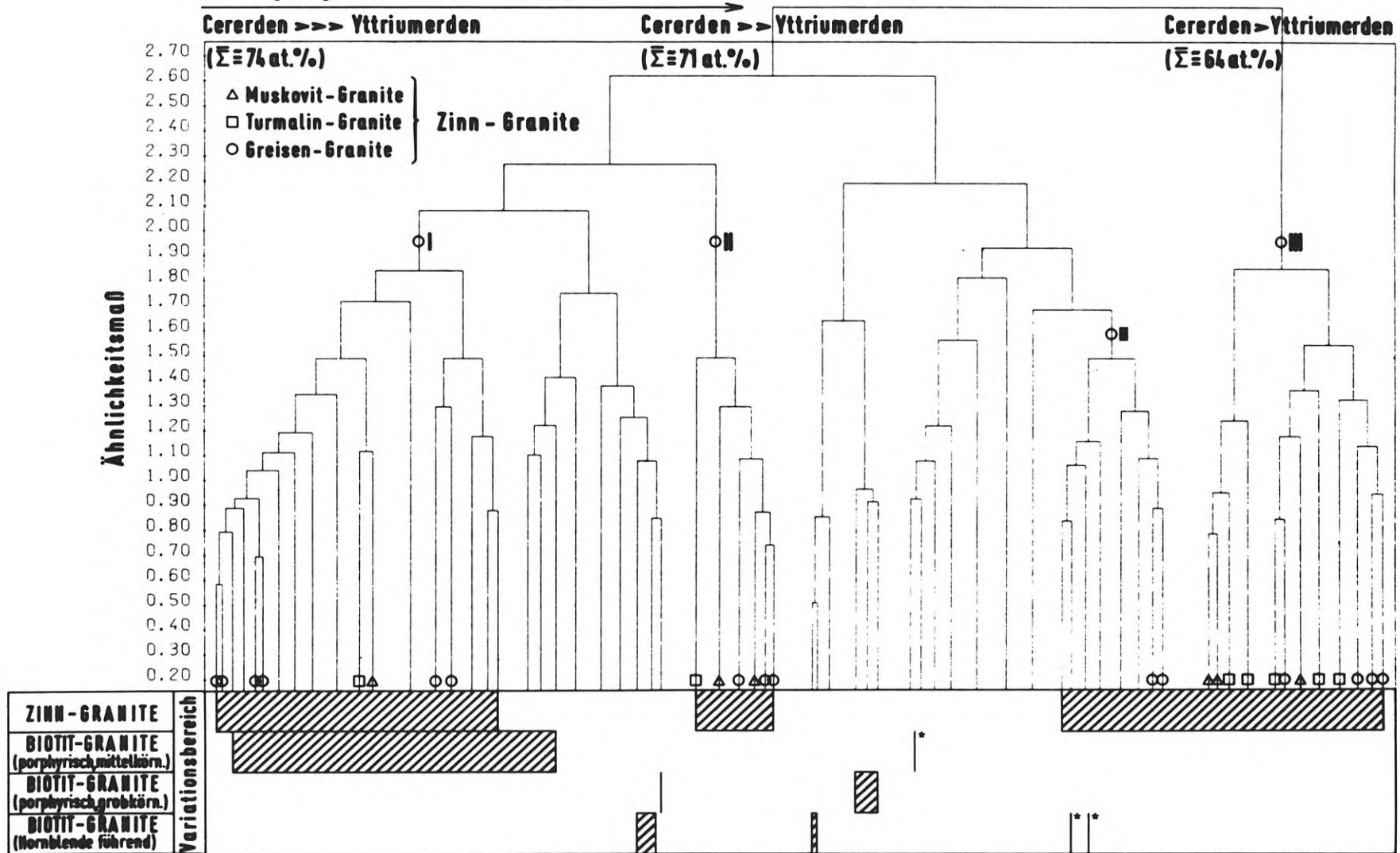


Abb. 14: Geochemische Beziehungen zwischen Zinn- und Biotit-Graniten in Thailand nach der Zusammensetzung der Seltenen Erden in akzessorischen Monaziten.

- x) epigenetische Monazite
- I, II = magmatische Monazite,
- III = postmagmatische Monazite

Wie aus der Verteilung von Monaziten aus Zinngraniten im Dendrogramm weiterhin hervorgeht, läßt sich mit der Cluster-Analyse über die Ergebnisse der Häufigkeitsanalyse hinaus eine weitere Monazitgeneration identifizieren (Gruppe II in Abb. 14). Diese Monazitgeneration weist eine enge Ähnlichkeitsbeziehung mit den magmatischen Monazitgruppen auf und muß daher als eine weitere Generation der magmatischen Monazite bezeichnet werden.

6. SYNTHESE: GENETISCHE BEZIEHUNGEN ZWISCHEN GRANITEN UND ZINNVERERZUNGEN IN THAILAND

Die Entstehungsbedingungen der endogenen Zinnlagerstätten lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen (HUNTER 1973):

- 1) Bildung von granitischem Magma und Kristallisationsbedingungen, die seine Fraktionierung ermöglichen. Hierbei erfolgt die Magmabildung durch Aufschmelzung von lithosphärischen Material an den Plattengrenzen oder von krustalen (sialischen) Gesteinen.
- 2) Magmaintrusion in einer geologischen Umgebung, die eine Ausbildung von Cupolas fördert, die als strukturelle Fallen der leichtflüchtigen Bestandteile dienen können. Hierbei müssen diese Fallen durch ausreichend mächtige und impermeable Dachgesteine abgedichtet sein.
- 3) Bildung von tief angelegten Störungen (Hauptlineamenten), die als Zufuhrwege für eine zusätzliche Anreicherung der intrudierten Schmelze durch leichtflüchtige Bestandteile dienen können.

Die Entstehung der thailändischen Zinnlagerstätten kann durch diese allgemeine Bildungsbedingungen der endogenen Zinnlagerstätten zwanglos erklärt werden. Dennoch lassen sich anhand der vorgelegten Untersuchungsergebnisse bzw. im Hinblick auf die Stellung der thailändischen Granite im Orogenzyklus besondere genetische Beziehungen zwischen Graniten und Zinnvererzungen in Thailand feststellen, die auf eine spezifische Genese der thailändischen Zinnvererzungen hinweisen.

Die genetische Bindung der thailändischen Zinnvererzungen an bestimmte Graniten des Thai-Malaya Orogens ist unbestritten (ARANYAKANON 1961, PITAKPAIVAN 1970, HOSKING 1977). Aus den vorgelegten Untersuchungsergebnissen ergibt sich aber, daß die Bindung an Muskovit- und Turmalin-Granite genetisch nur von zweitrangiger Bedeutung sein kann, weil diese Granittypen infolge gleicher oder ähnlicher postmagmatischer Prozesse wie Zinnvererzungen entstehen. Die Frage der genetischen Beziehungen zwischen Graniten und Zinnvererzungen stellt sich daher in Thailand als die Frage der Beziehungen zwischen Biotit-Graniten und Zinnvererzungen.

Aus den vorgelegten Untersuchungsergebnissen ergibt sich, daß in der Gruppe der untersuchten thailändischen Biotit-Granite der mittelkörnige porphyrische Biotit-Granit aus der Typus Lokalität in Haad Som Pan in Ranong, Süd-Thailand, eine enge genetische Beziehung zu den thailändischen Zinnvererzungen aufweist. Zusammenfassend läßt sich die Bindung der thailändischen Zinnvererzungen an diesen Biotit-Granit Typ durch folgende Argumente belegen:

- 1) Die Durchschnittswerte von $La+Ce+Pr$, $Ce/(Nd+Y)$, von Th und Ca in akzessorischen Monaziten aus mittelkörnigem porphyrischem Biotit-Granit stimmen mit magmatischen Monaziten aus Zinnerzen der Greisen- und Imprägnationslagerstätten in allen untersuchten und geographisch in Süd-Thailand weit voneinander entfernten Lokalitäten überein.
- 2) Demgegenüber zeigen akzessorische Monazite aus übrigen Biotit-Graniten (grobkörniger porphyrischer Biotit-Granit aus Chiang Mai, Biotit-Hornblende-Granit aus Phuket) unterschiedliche Verteilung aller untersuchten Elemente.
- 3) Die typomorphe Stellung von Monazit in den endogenen Zinnvererzungen setzt eine genetische Beziehung zu Granittypen voraus, die über ein erhöhtes Angebot an Seltenen Erden bzw. Monazit verfügen. Anhand der Aufbereitungsergebnisse erscheint dieses Angebot bei mittelkörnigen porphyrischen Biotit-Granit entscheidend höher als bei übrigen Biotit-Graniten zu liegen.

Im Hinblick auf die Verteilung vor allem von $La+Ce+Pr$ in akzessorischen Monaziten aus Biotit-Graniten, stellt die Bindung der thailändischen Zinnerzungen an den mittelkörnigen porphyrischen Biotit-Granit eine Abweichung vom Normalfall dar, weil die Monazite aus diesem Biotit-Granit die höchsten $La+Ce+Pr$ -Werte unter

allen untersuchten Biotit-Graniten aufweisen. Anhand des geochemischen Verhaltens der Seltenen Erden während der magmatischen Differentiation müßte daher theoretisch auf ein niedriges Differentiationsniveau geschlossen werden. Auf der Grundlage der gängigen genetischen Modelle (z.B. BAUMANN et TISCHENDORF 1976) würde jedoch eine Bindung der Zinnerzlagertstätten an die höchstdifferentierten Granite zu erwarten sein.

Wegen dieser geochemisch signifikanten Abweichung werden die wichtigsten geochemischen Merkmale der akzessorischen Monazite aus mittelkörnigem porphyrischem Biotit-Granit rekapituliert:

- 1) Der Mittelwert von La+Ce+Pr liegt bei 74,5 Atom.-% und dadurch deutlich höher als bei übrigen thailändischen Biotit-Graniten. Mitunter treten akzessorische Monazite mit hohen La+Ce+Pr-Werten von 75,3, 76,4, 77,0 und 78,2 Atom.-% auf, die die Tendenz einer Fraktionierung der Seltenen Erden zu Gunsten der Cer-Untergruppe weiter unterstreichen.
- 2) Der Mittelwert von Th liegt bei 4,9 Gew.-% und damit deutlich niedriger als bei den übrigen thailändischen Biotit-Graniten.
- 3) Der Mittelwert von Ca liegt bei 0,1 Gew.-% und damit wesentlich niedriger als bei den übrigen thailändischen Biotit-Graniten.

Die Bindung der thailändischen Zinnerzvererzungen an Biotit-Granite mit Monaziten, die in erster Linie eine niedrige Differentiationsstufe anzeigen, wird weiterhin durch die Monazite aus Zinnvererzungen vom Nb-Ta-Sn-Pegmatit Typ unterstrichen. Die anomal hohen La+Ce+Pr-Werte von 76,5, 88,8 bzw. 90,5 Atom.-% der Monazite aus Nb-Ta-Sn-Pegmatit in der Sutut Mine, Phuket, Süd-Thailand, und die La+Ce+Pr-Werte von 78,9 bzw. 80,7 Atom.-% der gelegentlich auftretenden Monazite in Zinnseifen, zeigen nach Murata's Klassifikation sogar den Bereich der Alkaligesteine bzw. Karbonatiten an. Obwohl eine eingehende lagerstättengenetische Untersuchung der Nb-Ta-Sn-Pegmatite noch fehlt, muß betont werden, daß es sich nach vorläufigem feldgeologischem Befund bei diesem Pegmatittyp um einen Granitpegmatit bzw. einen granitischen Pegmatit-Aplit handelt und daß die bisherigen petrographischen Untersuchungen im Bereich der thailändischen Granitprovinz keine Hinweise auf das Auftreten von Alkaligesteinen ergaben.

Aus dem geochemischen Verhalten der Elemente der Seltenen Erden während der Differentiation der granitoiden Magmatite, läßt sich daher das Auftreten von diesen hohen La+Ce+Pr-Werten in den akzessorischen Monaziten aus granitischen Differentiaten nicht erklären. Es muß angenommen werden, daß diese geochemische Inkongruenz primäre Unterschiede in der Zusammensetzung von Ausgangsmaterial der granitischen Schmelzen reflektiert bzw. auf eine besondere Zusammensetzung von dem Ausgangsmaterial der Zinngranite hindeutet.

Weil eine Fraktionierung der Seltenen Erden zu Gunsten der Cer-Untergruppe auf eine Entstehung aus basischen Gesteinen hindeutet (MURATA 1957), können basische Gesteine allgemein als Ausgangsgesteine zur Bildung der Zinngranite bzw. der Zinnvererzungen angenommen werden.

In Anlehnung an experimentelle Untersuchungen von BOWEN et TUTTLE (1958) und unter Berücksichtigung der geologischen Stellung der thailändischen Zinnerzlagertstätten lassen sich diese Ausgangsgesteine als basaltisch-gabbroide Gesteine der Unterkruste bezeichnen. Nach dem theoretischen Konzept der allgemeinen Bildungsbedingungen der Zinnlagertstätten von HUNTER (1973) würde es sich um eine Entstehung der Zinnlagertstätten aus "lithosphärischem" Material handeln.

Das vorgelegte Konzept der Entstehung von thailändischen Zinngraniten setzt also die Möglichkeit einer magmatischen Entstehung durch Differentiation von basischen Schmelzen voraus und bezieht sich auf die Theorie der magmatischen ("magmatistischen") Granitbildung. Für eine praktische auf die Prospektionszwecke bezogene Klärung der genetischen Zusammenhänge zwischen Graniten und Zinnvererzungen in Thailand bzw. im Thai-Malaya Orogen erscheint die Anwendung von dieser Betrachtungsweise gegenüber der isolierten Granit-Zinn-Betrachtung von Vorteil zu sein. Sie ermöglicht einen genetischen Zusammenhang zwischen Sn-Vererzungen einerseits und den Ta-Nb-, Seltenen Erden- und Ti-Vererzungen andererseits aufzustellen und eine Reihe von vorliegenden Erkenntnissen in ein einheitliches genetisches System zu fassen.

Das Konzept der magmatischen Entstehung von Zinngraniten konnte weiterhin die zyklische Wiederholung der Intrusionsperioden in der postorogenen Phase des Thai-Malaya Orogens begreiflicher machen bzw. einen Beitrag zur Klärung der metalogenetischen Bedeutung von postorogenem Plutonismus leisten.

6.1 Anwendung von Monaziten bei der Prospektion von Zinnerzen

Wie bereits im Abschnitt 4.5 erwähnt, besteht die Anwendungsmöglichkeit von Monaziten als geochemische Indikatoren ("proximity indicators") darin, daß in Zinngraniten und den wirtschaftlich wichtigen imprägnativen Zinnvererzungen und Greisen neben einer magmatischen Monazitgeneration auch eine postmagmatische auftritt, die sich mit Hilfe von geochemischen Indizes $\text{La}+\text{Ce}+\text{Pr}$ bzw. $\text{Ce}/(\text{Nd}+\text{Y})$ charakterisieren läßt. Hierbei liegt die charakteristische Konzentrationsspanne von $\text{La}+\text{Ce}+\text{Pr}$ in postmagmatischen Monaziten nach vorliegenden Untersuchungen zwischen 63,0 und 69,9 Atom.-% ($\bar{x} \pm 2s$). Für Prospektionszwecke lassen sich in Annäherung alle Monazite mit $\text{La}+\text{Ce}+\text{Pr}$ -Wert 70 Atom.-% zu postmagmatischen Monaziten zählen. Der Nachweis von Monaziten der postmagmatischen Generation in den Schwermineral-Fractionen der Fluß- bzw. der Strandsedimente gilt daher als Hinweis auf die Nähe von Zinnvererzungen allgemein.

Die Auswahl der Probennahmenstellen bei der Durchführung von Reconnaissance-Campagnen läßt sich grob mit Hilfe von Satellitenaufnahmen (ERTS-1,2, Bildnummer siehe Abb. 1) kontrollieren. Hierbei ist die Identifizierung von lokalen Lineamenten und der Lage der Zinngruben von besonderer Bedeutung. Eine entsprechende Interpretation der Satellitenaufnahmen des Testgebiets Insel Phuket wurde durchgeführt (Anlage, Taf. 3). Bei der Bestimmung der Entnahmestellen in prospektiven Probennahmenbereichen bewährte sich der Einsatz von Gamma-Spektrometer mit einem externen 300 cm^3 $\text{NaJ}(\text{Tl})$ -Kristall (Gam-1, Scintrex, Kanada).

6.1.1 Prospektionstest in der näheren Umgebung der Zinnvererzungen

Prospektionstests wurden durchgeführt in Flußablagerungen je 200 bis 300 m flußabwärts von der Hoey Siang Mine (Lok. Nr. 7 in Abb. 2) und von der Chalerm Mine (Lok. Nr. 9 in Abb. 2) in Phuket. In beiden Zinngruben ist der Abbau von eluvialen Zinnseifen tief hinein in die Primärzone fortgeschritten und es liegen gut aufgeschlossene imprägnative Zinnvererzungen ("Zinnstockwerke") in kaolinisiertem Granit vor, die mittels Monitoren abgebaut werden.

Die Ergebnisse der Bestimmungen von $\text{La}+\text{Ce}+\text{Pr}$ und $\text{Ce}/(\text{Nd}+\text{Y})$ an den detritischen Monaziten aus der Schwermineral-Fraktion der Flußablagerungen sind in der Taf. 4, Fig. 2 und Taf. 5, Fig. 1 der Anlage in Form von Korrelationsdiagrammen dargestellt.

Wie aus dieser diagrammatischen Darstellung der $\text{Ce}/(\text{Nd}+\text{Y})/\text{La}+\text{Ce}+\text{Pr}$ -Korrelation hervorgeht, lassen sich in Monazitdetritus aus beiden Entnahmestellen Monazite mit einem $\text{La}+\text{Ce}+\text{Pr}$ -Wert von 62 bis 68 bzw. bis 69 Atom.-%, also Monazite der postmagmatischen Generation nachweisen. Von diesem Nachweis her kann zuerst auf eine Größe von detritischem Dispersionshof der zinnanzeigenden postmagmatischen Monazite von 200 bis 300 m geschlossen werden.

6.1.2 Prospektionstest in der weiteren Umgebung von Zinnvererzungen

Der Prospektionstest in der weiteren Umgebung der Zinnvererzungen wurde durchgeführt im Bereich der Strandablagerungen, die keine Verbindung zu primären Zinnvererzungen erkennen lassen. Die Entnahme von detritischen Monazitproben aus Strandablagerungen erfolgte am Nai Harn Beach im Süden der Insel Phuket (Lok. Nr. 11 in Abb. 2) und am Ba Na Tai Beach in der Provinz Phang Nga (Lok. Nr. 13, vgl. Abb. 2). Der Nai Harn Beach befindet sich in der unmittelbaren Nähe von anstehendem Granit und der Ba Na Tai Beach bildet westliche Abgrenzung einer über 5 km weit ausgedehnte alluviale Fläche.

Die Ergebnisse der Bestimmungen von $\text{La}+\text{Ce}+\text{Pr}$ und $\text{Ce}/(\text{Nd}+\text{Y})$ an detritischen Monaziten aus Schwermineral-Fraktion der beiden Strandsedimente sind in Taf. 4 der Anlage ebenfalls in Form von Korrelationsdiagrammen dargestellt.

Im Strandsediment vom Nai Harn Beach wurden nur Monazite der magmatischen Generation mit $\text{La}+\text{Ce}+\text{Pr}$ -Wert von 73,7 bis 74,3 Atom.-% gefunden. Diese Werte wie auch die Th-Gehalte von 6,9 bis 7,4 Gew.-% und die Ca-Gehalte von 2,1 bis 2,2 Gew.-% als zusätzliche geochemische Hilfsmittel lassen die Folgerung zu, daß im Bereich des Entwässerungsbeckens vom Nai Harn Beach keine Zinnvererzungen zu erwarten sind.

Diese Folgerung läßt sich indirekt auch dadurch bestätigen, daß trotz einer sehr langen Zinnbergbaubetrieb auf der Insel Phuket, in der Nähe vom Nai Harn Beach keine Zinnvorkommen bekannt sind.

Demgegenüber zeigten Monazite aus dem Strandsediment vom Ban Na Tai Beach in der Phang Nga Provinz $\text{La}+\text{Ce}+\text{Pr}$ -Werte von 65,8-69,8 Atom.-%, die auf die zinnanzeigende postmagmatische Monazitgeneration schließen lassen.

Demzufolge sind im Entwässerungsbecken vom Ban Na Tai Beach Zinnvererzungen zu erwarten.

Im Hinblick auf die rezenten Entwässerungs- und Sedimenttransportverhältnisse lassen sich sowohl ausgedehnte alluviale Flächen im Hinterland vom Ba Na Tai Beach als auch der anliegende, strandnahe Offshore Bereich als hoch prospektive Gebiete bezeichnen. Eine Detailerkundung von diesem Gebiet ist notwendig, um bauwürdige Seifenzinnvorkommen nachzuweisen. Durch das Auftreten von postmagmatischen Monaziten im Ba Na Tai Beach läßt sich auf eine Größe der zinnanzeigenden detritischen Dispersionshöfen in einem Bereich von mehreren km² schließen.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- AMLI, R. et GRIFFIN, L. W. (1975): Microprobe analysis of REE Minerals using empirical correction factors.- Am. Miner., 60, 599-606.
- ANGKATAVANICH, N. (Hrsg.) (1975): Map of mineral resources of Thailand (Barite).- Royal Thai Survey Department.- Bangkok.
- ARANYAKANON, P. (1961): The Cassiterite deposit of Haad Som Pan, Ranong Province, Thailand.- Dep. Min. Resources, Report on Investig. 4.- Bangkok.
- ARANYAKANON, P., SUTHAKORN, P. et al. (1974): Tin exploration in the Adang-Rawee archipelago area, Satun Province, Southern Thailand.- 4th world conf. on tin 30th Oct.-5th Nov. 1974, ITC.- Kuala Lumpur.
- BAUMANN, L. et TISCHENDORF, G. (1977): Einführung in die Metallogenie und Minerogenie.- VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.- Leipzig.
- BAUM, R., BRAUN, E. et al. (1970): On the geology of Northern Thailand.- Geol. Jb., 15.- Hannover.
- BARTHEL, F. (1973): Die Verteilung des Thoriums und Urans im Malsburger Granit und in seinen Differentiaten.- Unveröff. Diss., FU Berlin
- BOWEN, N. L., TUTTLE, O. F. (1958): Origin of Granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$.- Geolog. Soc. Am. Mem. 74.
- BORODIN, L. S. (1967): Die Seltenen Erden als geochemische Indikatoren bei der Lösung von Fragen der endogenen Mineralbildung.- Z. f. ang. Geol., 13, 9-16.
- BRAUN, E., BESANG, C. et al. (1976): Radiometric Age Determinations of Granites in Northern Thailand.- Geol. Jb., 21, 171-204.- Hannover.
- BURTON, C. K. et BIGNELL, J. D. (1969): Cretaceous-Tertiary events in Southeast Asia.- Geol. Soc. of Am. Bull., 80, 681-688.
- BÜTTNER, D. (1979): Biometrie und Evolution der Viviparus-Arten (Mollusca, Gastropoda) aus der Plio-Pleistozän-Abfolge von Ost-Kos (Dodekanes, Griechenland).- Berliner geowiss. Abh., Reihe A.
- CAMIN, J. H. et SOKAL, R. R. (1965): A method for deducing branching sequences in phylogeny.- Evolution, 19, 311-326.- Lawrence (Kansas).
- CHARAN ACHALABHUTI et al. (1975): Heavy minerals associated with tin in alluvial and beach deposits in Southern Thailand.- Econ. Geol. Bull. 9.- Bangkok.
- CHONG, N. H. (1978): A review of tin and tungsten association in the Thai-Malay Peninsular.- Int. Symposium on Geology of Tin Deposits., 23rd-25th March 1978.- Kuala Lumpur, Malaysia.
- CORDES, E. (1966): Aufbau und Bildungsbedingungen der Schwermineralseifen bei Skagen (Dänemark).- Meyniana, 16, 1-35.- Kiel.
- DAVIS, J. C. (1973): Statistics and data analysis in geology, with FORTRAN programs by Robert J. Sampson.- Kansas geological Survey.- New York.
- DUDYKINA, A. S. (1959): Parageneticeskie associacii elementov-primesej v kassiteritach razlicnyh geneticeskich tipov olovorudnyh mestorozdenij (Spurenelementparagenesen in Kassiteriten von genetisch verschiedenen Zinnlagerstätten).- Ak. Nauk SSSR, Inst. f. Geol. d. Erzlagerstätten etc., 28, 111-121.- Moskau.
- FLEISCHER, M. (1965): Some aspects of the geochemistry of Yttrium and the Lanthanides.- Geochim. Cosmochim. A., 29, 755-772.
- FLEISCHER, M. et ALTSCHELER, Z. S. (1969): The relationship of the rare-earth composition of minerals to geological environment.- Geochim. Cosmochim. A., 33, 725-732.
- FLEISCHER, M., ROBINSON, W. O. (1969): in: WEDEPOHL, K. H.: Handbook of Geochemistry-Vol. I, 9-B-1-9-0-4- Berlin.
- FRIEDRICH, G. (1968): Anwendung und Ergebnisse moderner Methoden bei der geochemischen Exploration.- Schr. Ges. deutsch. Metallhütten- und Bergleute e. V., 21, 58-75.
- FLINTER, B. H. et al. (1963): A study of alluvial Monazite from Malaya.- Am. Mineral., 48, 1210-1226.- Washington.
- GARSON, M. S., YOUNG, B. et al. (1975): The geology of the tin belt in Peninsular Thailand around Phuket, Phangnga and Takua Pa.- Inst. Geol. Sci.- Overseas Memoir no. 1.- London.

- GOCHT, W. (1969): Der metallische Rohstoff Zinn.- Berlin-München.
- (1974): Handbuch der Metallmärkte.- Berlin-Heidelberg-New York.
- (1978): Wirtschaftsgeologie.- Berlin-Heidelberg-New York.
- (1977): Wirtschaftsgeologische Bewertungsdeterminanten für Zinnseifen in Südostasien.- *Erzmetall*, 30, 200-204.- Berlin.
- (1973): Veränderungen der Bauwürdigkeitsgrenze in Zinnlagerstätten.- *Z. Dtsch. Geol. Ges.*, 124, 101-109. Hannover.
- GOLDSCHMIDT, V. M., THOMASSEN, L. (1924): Geochemische Verteilung der Elemente.- III Roentgenspektrographische Untersuchungen über die Verteilung der seltenen Erdmetalle in Mineralen.- *Videnskaps. Skrift, Mat.- Naturw. Klasse, Nr. 5*, 1-50.- Oslo.
- GRIFFITTS, W. R., OVERSTREET, W. C. (1952): Granitic rocks of the western Carolina Piedmont.- *Am. J. Sci.*, 250, 77-789.- Washington.
- HEINRICH, E., BORUP, R. A. et al. (1960): Relationship between geology and composition of some pegmatitic Monazites.- *Geochim. Cosmochim. A.*, 19, 222-231.
- HOBBS, B. E. et al. (1976): An outline of structural geology.- John Wiley Inc.- New York- London- Sydney- Toronto.
- HOSKING, K. F. G. (1969): Aspects of the geology of the tin-fields of South-east Asia.- Proc. 2nd tech. tin conf., ITC.- Bangkok.
- HOSKING, K. F. G. (1970): Primary tin deposits of south-east Asia.- *Minerals Sci. Engng.*, 4, 24-50.- Johannesburg.
- (1973): The primary tin mineralization pattern of West Malaysia.- *Geol. Soc. Malaysia Bull.*, 6, 297-306.- Kuala Lumpur.
- (1974): The search for deposits from which tin can be profitable recovered now and in the foreseeable future.- 4th world conf. on tin, ITC.- Kuala Lumpur.
- HUNTER, D. R. (1973): The localisation of tin mineralization with reference to Southern Africa.- *Minerals Sci. Engng.*, 5, 53-77.- Johannesburg.
- HUTCHISON, C. S., CHAKRABORTY, K. R. (1978): Tin: a mantle or crustal source?.- Int. Symp. on Geol. of tin Dep. 23rd-25th March 1978.- Kuala Lumpur.
- ISHIHARA, S. (1978): The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.*, 27, 293-305.
- ISHIHARA, S., ARPORNISUWAN, A. et al. (1978): The magnetite-series and ilmenite-series granitoids and their bearing on tin mineralization, particularly of the Malay Peninsula region.- Int. Symp. on Geol. of tin Dep. 23rd-25th March 1978.- Kuala Lumpur.
- KALITA, A. P. (1959): Distribution of rare earths in the pegmatite minerals of Northwestern and Southwestern Karelia.- *Geochemistry*, 2, 171-177.- Moskau.
- KATILI, J. A. (1974): Geological environment of the Indonesian mineral deposits, a plate tectonic approach.- *Seri Geol. Ekon.*, 7, *Geol. Surv. Indonesia*.- Bandung.
- KLIX, V. (1975): Marine Seifenlagerstätten - ihre Stellung im Rahmen des Meeresbergbaus.- *Braunkohle*, 12, 23-31.
- LEE, D. E., DODGE, F. C. W. (1964): Accessory minerals in some granitic rocks in California and Nevada as a function of calcium content.- *Am. Mineral.*, 49, 1660-1669.
- LEE, D. E. et al. (1967): Fraktionation of rare-earth elements in allanite and monazite as related to geology of the Mt. Wheeler mine area, Nevada.- *Geochim. Cosmochim. A.*, 31, 339-356.
- MACDONALD, E. H. (1971): Detrital heavy minerals of Thailand.- *CCOP Tech. Bull.*, 5,- Bangkok.
- MARMO, V. (1971): Granite petrology and the granite problem. Elsevier publ. Comp.-Amsterdam-London-New York.
- MACCAMMON, R. B., WENNINGER, G. (1970): Dendrograph.- *Computer Contr.*, 48.- Lawrence, Kansas.
- MITCHELL, A. H. G. (1976): Southeast Asian tin granite: magmatism and mineralization in subduction and collision setting.- *CCOP newsl.*, 3, no. 1-2.
- MOH, G., TRAUB, I. (1978): Trace elements in tin ores (with special attention to Asian occurrences).- in: NUTALAYA, P. (Hrsg.) (1978): *Geology and mineral resources of Southeast Asia*, Proc. of 3rd regional conference. GEOSEA III.- Bangkok.
- MÜLLER, G. (1966): Methoden der Sedimentuntersuchung. Schweizerbart.- Stuttgart.

- MURATA, K. J., ROSE, H. J. et al. (1953): Systematic variation of rare earths in monazite.- *Geochim. Cosmochim. A.*, 4, 292-300.
- MURATA, K. J., ROSE, H. J. et al. (1957): Systematic variation of rare-earth elements in Cerium-earth minerals.- *Geochim. Cosmochim. A.*, 11, 141-161.
- MURATA, K. J., DUTRA, C. V. et al. (1958): Composition of monazites from pegmatites in eastern Minas Gerais, Brazil.- *Geochim. Cosmochim. A.*, 16, 1-14.
- NUTALAYA, P., CAMPBELL, K. V., McDONALD, A. S., ARANYAKANON, P., SUTHAKORN, P. (1978): Review of the geology of the Thai tin fields.- *Int. Symp. on Geol. of tin dep.* 23rd-25th March 1978.- Kuala Lumpur.
- NUTALAYA, P. (Hrsg.) (1978): *Geology and mineral resources of Southeast Asia, Proc. of 3rd reg. conferen. GEOSEA III.*- Bangkok.
- OSBERGER, R. (1965): Über die Zinnseifen Indonesiens und ihre genetische Gliederung.- *Z. deutsch. geol. Ges.*, 117, 749-766.- Hannover
- OUNCHANUM, P. (1978): Geologic history of Thailand related to the plate tectonic models.- *Open file reports 1975-1978*, no. 2, 306- 324.- *Dep. of Geol. Sci.*- Chiang Mai, Thailand.
- OVERSTREET, W. C. (Hrsg.) (1967): *The geologic occurrence of monazite.*- *Geol. Surv. prof. paper 530.*- U.S. printing off., Washinton.
- PIETZSCH, K. (1962): *Geologie von Sachsen.*- VEB Dtsch. Verlag d. Wiss.- Berlin.
- PIPHOP ISARANGKON (1973): Distribution of heavy minerals in the Phuket and Phang Nga areas, Southern Thailand.- *CCOP techn. Bull.*, 7- Bangkok.
- PITAKPAIVAN, K. (1970): Tin-bearing and tin-barren granites in Thailand.- in: ARANYAKANON, P. et al. (1970): *Tin deposits in Thailand.*- 2nd tech. conferen. on tin.- Bangkok.
- PONGPOR ASNACHINDA (1978): Tin mineralization and petrochemistry relationship of the Thai granitoids.- *Open file reports 1975-1978*, no. 2, 325-354.- *Dep. of Geol. Sci.*- Chiang Mai, Thailand.
- RAMDOHR, P. (1975): *Die Erzminerale und ihre Verwachsungen.*- Ak. Verlag.- Berlin.
- RICHARTZ, W. (1961): Über kristallchemische Untersuchungen und magnetische Aufbereitung von Monazit.- in: *Fortschritte d. Mineralogie (1961)*, 53-59.- Stuttgart.
- ROSE, H. J., BLADE, L. V. (1958): Earthy monazite at Magnet Cove, Arkansas.- *Am. Min.*, 43, 995-997.
- RÜSLER, H. J., LANGE, H. (1975): *Geochemische Tabellen.*- VEB Dtsch. Verl.- Leipzig.
- SCHNEIDER, G. (1974): Mineralanalytische und geochemische Probleme der Röntgenfluoreszenzspektrometrie in ihrer Anwendung auf anatektische Gesteine.- *Unveröff. Diss.*, FU Berlin.
- SCHNEIDERHÖHN, H. (1962): *Erzlagerstätten (Kurzvorlesung zur Einführung u. Wiederholung).*- Jena.
- SCHROLL, E. (1975): *Analytische Geochemie, Bd. I: Meßmethodik.*- Stuttgart.
- SEMENOV, E. J., BARINSKIJ, R. L. (1958): The composition characteristics of the rare-earths in minerals.- *Geochemistry*, 4, 398-410.
- SLEPNEV, J. S. (1964): Geochemical characteristics of the rare metal granitic pegmatites of the Sayan mountains.- *Geochimija*, 3, 242-252.- Moskau.
- SMIRNOV, V. V. (1976): *Geology of mineral desopits.*- Mir Publishers.- Moskau.
- SOKAL, R. R., SNEATH, P. H. A. (1963): *Principles of numerical taxonomy.*- Freeman.- San Francisco-London.
- STAUFFER, P. H. (1974): Malaya and Southeast Asia in the pattern of continental drift.- *Geol. Soc. of Malaysia Bull.*, 7, 89-138.
- STEMPROK, M. (1967): Genetische Probleme der Zinn-Wolfram-Vererzung im Erzgebirge.- *Min. Deposita*, 2, 102-118.
- SUENSILPONG, S. (1977): The role of plate collision in tin mineralization in Thailand.- *7th CPPP.*- Japan.
- SUWANASING, A., AEOPHANTHONG, V. (1975): Distribution of heavy minerals along Thai Muang beach, Phang Nga Province, Southern Thailand.- *DMR Econ. Geol. Bull.* 9, Bangkok.
- TAUSON, L. V., KOZLOV, V. D. (1973): Distribution functions and ratios of trace-element concentrations as estimators of the ore-bearing potential of granites.- in: JONES, J. (Hrsg.) (1973): *Geochemical exploration.*- 37-44.- IMM.- London.
- THANASUTHIPITAK, T. (1978): Geology of Uttaradit area and its implications on tectonic history of Thailand.- *Open file reports*, 2, 257-287.- *Dep. Geol. Sci.* Chiang Mai.- Thailand.
- TISCHENDORF, G. (1968): Das System der metallogenetischen Faktoren und Indikatoren bei der Prognose und Suche endogener Zinnlagerstätten. *Z. f. ang. Geol.*, 14, 393-403.- Berlin.

- TISCHENDORF, G. (1969): Über die kausalen Beziehungen zwischen Granitoiden und endogenen Zinnlagerstätten.- Z. f. ang. Geol., 15, 334-345.- Berlin.
- VAJNSTAJN, E. E., TUGARINOV, A. J. et al. (1955): The distribution of the rare earths in monazites.- Dokl. Ak. Nauk-SSSR, 104, 268-271.- Moskau.
- WHITTAKER, E. J. W., MUNTUS, R. (1970): Ionic radii for use in geochemistry.- Geochim. Cosmochim. A., 34, - London
- WILLGALLIS, A. (1970): Zur Mikrosondeanalyse der U-Th-Mineraie im Malsburger Granit.- N. Jb. Miner. Abh., 114, 48-60.- Stuttgart.
- (1974): Elektronenstrahl Mikroanalyse.- Scriptum. FU-Berlin.
- ZIROV, K. K., BANDURKIN, G. A. et al. (1961): Geochemistry of rare earth elements in pegmatites of Northern Karelia.- Geochemistry, 11, 1107-1119.- Moskau.

ANHANG

(Taf. 3-5, Tab. 19)

PHOTOLINEATIONEN IN PHUKET/SÜD-THAILAND mit Lage der Zinngruben

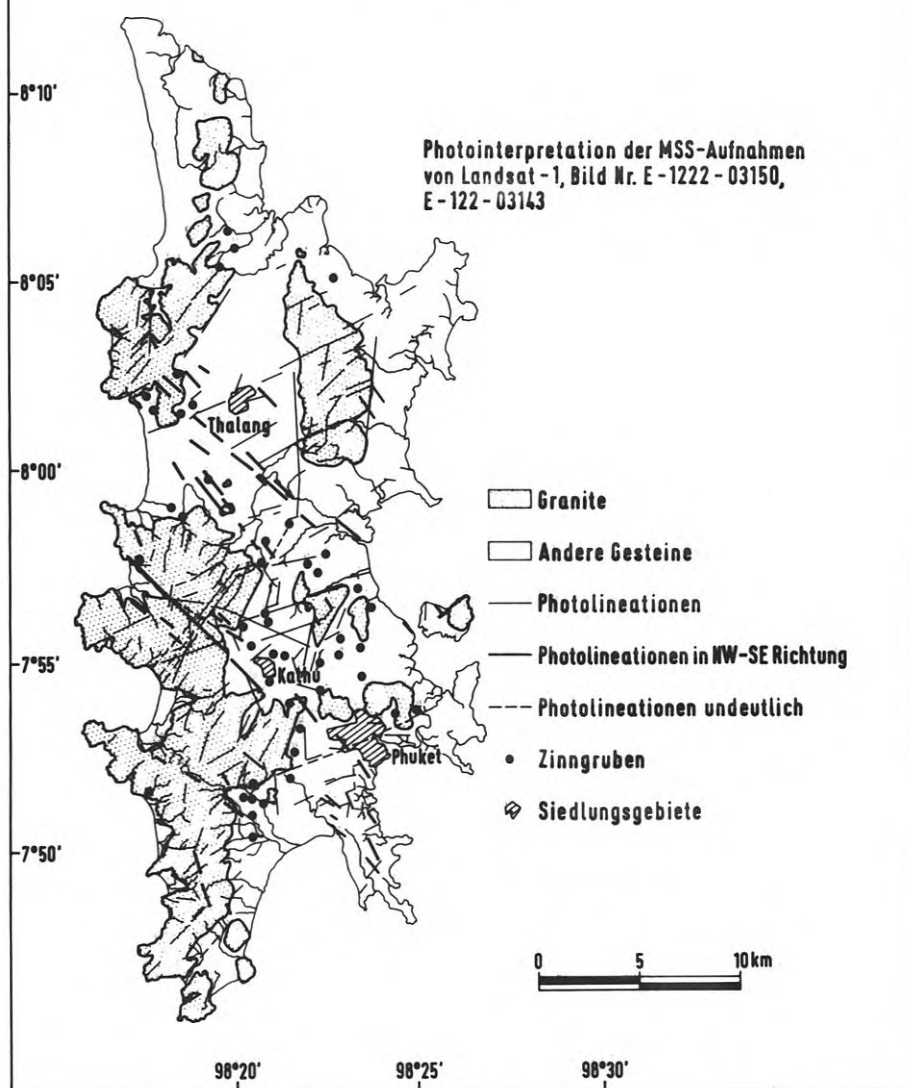


Fig. 1: Geochemische Prospektions= tests in Strandsedimenten (Testgebiet Ba Na Tai Beach, Provinz Phang Nga und Nai Harn Beach, Provinz Phuket, Süd-Thailand).

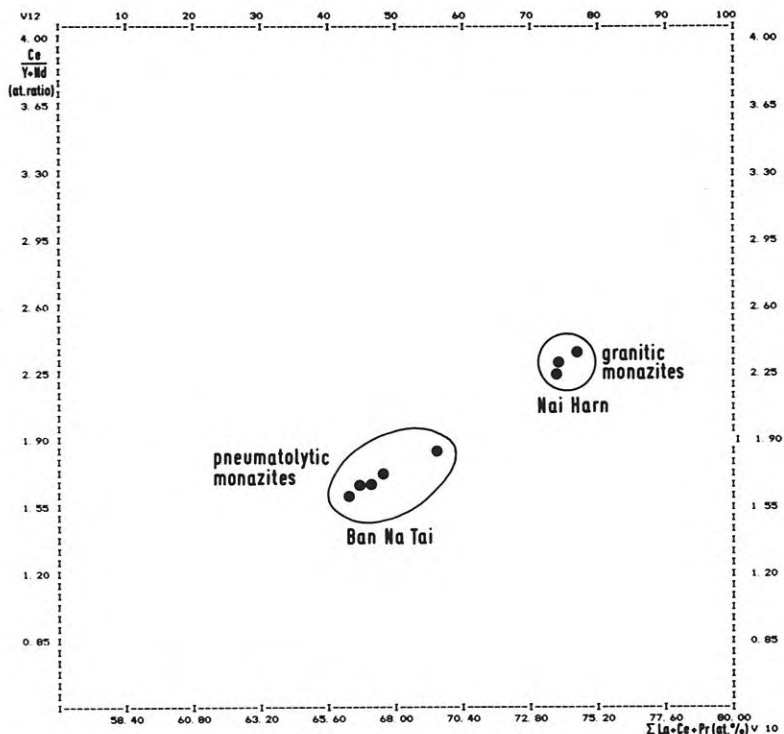


Fig. 2: Geochemische Prospektions= tests in Flußsedimenten (Testgebiet Hoey Siang Mine, Provinz Phuket, Süd-Thailand).

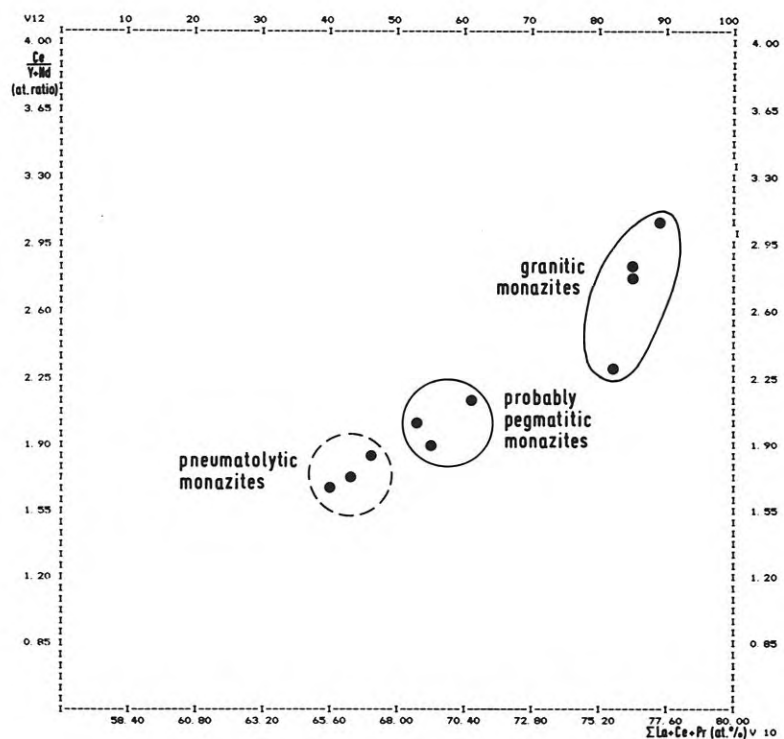


Fig. 1: Geochemische Prospektions= tests in Flußsedimenten (Testgebiet Chalerm Mine, Provinz Phuket, Süd-Thai= land).

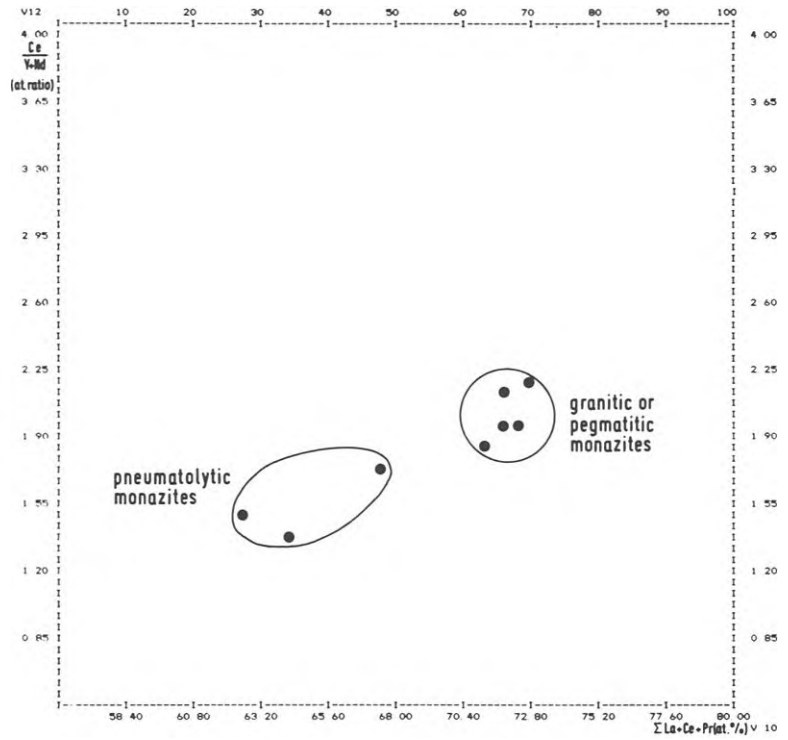
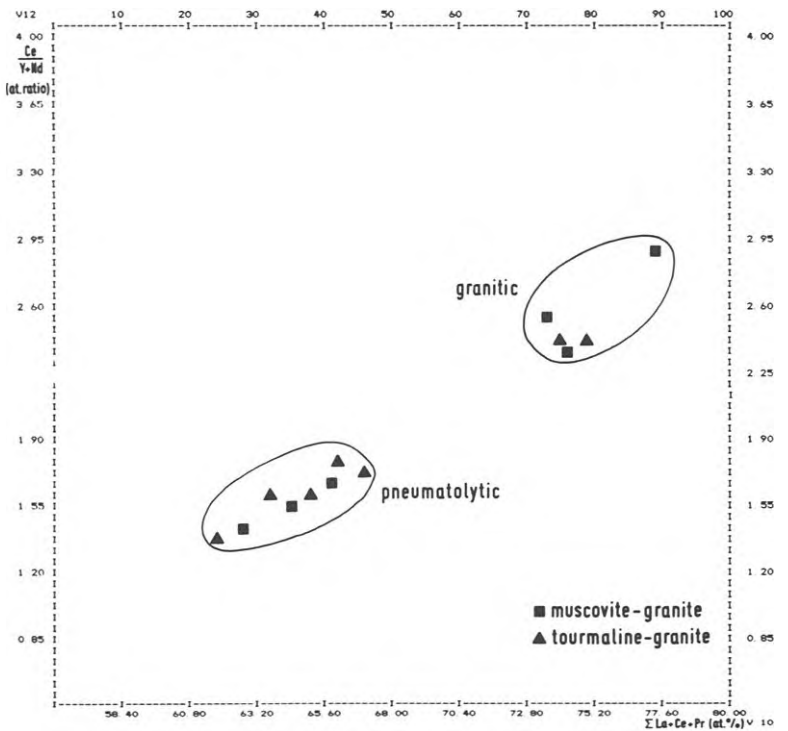


Fig. 2: Fraktionierung von Monaziten aus Muskovit- und Turmalin-Graniten in Monazite der magmatischen und postmagmatischen Generation (Lokalität Haad Som Pan, Distrikt Ranong, Süd-Thai= land).



Tab. 19: Analysen von detritischen Monaziten aus Zinnseifen in Süd-Thailand

Nr. ¹⁾	Lokalität	(Atom.-%)							(Gew.-%)			
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Dy	Y	La+Ce+Pr	Ce/(Nd+Y)	Th	Ca
a) Provinz PHUKET												
(5)	Keng Nguan Mine	24,8	26,0	6,7	25,0	4,2	1,9	11,3	57,5	0,72	4,6	0,5
		20,5	48,2	5,2	18,6	3,2	1,0	3,2	73,9	2,21	3,6	0,3
		21,5	49,6	7,1	15,5	2,4	0,6	3,2	78,2	2,65	4,9	0,8
(8)	Lunseng Mine	20,0	46,7	4,8	20,2	4,9	0,5	2,9	71,5	2,02	7,2	3,8
(10)	Phuket-Bucht	19,8	47,9	5,0	20,8	2,8	0,6	3,2	72,7	2,00	6,3	1,3
		21,0	47,2	5,4	20,4	2,9	0,6	2,6	73,6	2,05	4,4	0,5
		20,3	44,7	5,1	20,1	3,0	0,9	6,0	70,1	1,71	7,6	2,5
		18,3	41,7	5,4	23,3	3,4	1,2	6,7	65,4	1,39	8,4	1,3
b) Provinz PHANG NGA												
(12)	Bannarat Mine	16,1	43,5	4,9	22,9	4,3	1,3	7,0	64,5	1,45	11,3	7,0
		17,3	45,8	5,1	18,0	4,1	1,4	8,4	68,2	1,73	12,2	7,4
		19,5	44,0	5,4	22,2	4,2	0,6	4,1	68,9	1,67	4,2	1,7
		17,9	34,8	6,9	27,0	6,5	0,8	6,7	59,5	1,03	7,2	3,3
		17,2	46,2	5,8	10,5	4,4	1,6	5,2	60,2	1,87	9,2	3,5
		19,9	44,7	6,1	20,4	4,7	0,7	4,2	70,7	1,82	6,7	2,0
c) Distrikt Takua Pa												
(14)	Sahamit Mine	22,3	44,3	5,9	22,0	2,9	0,3	2,3	72,5	1,82	3,2	0,6
		19,6	45,6	6,6	22,8	3,4	0,3	1,6	71,8	1,87	4,3	0,5
		18,4	42,4	6,6	24,9	4,2	0,3	3,3	67,4	1,50	4,3	1,1
		21,2	46,2	5,7	21,2	2,9	0,3	2,5	73,1	1,95	4,7	0,7
		22,8	42,9	6,3	21,1	3,5	0,4	3,0	72,0	1,78	6,4	0,8
		18,7	48,4	4,9	19,5	2,6	0,9	5,0	72,0	1,97	8,6	2,7
(15)	Ban Nam Kam Mine	21,8	50,0	4,3	15,5	3,1	0,5	4,7	76,1	2,47	8,9	0,4
		24,2	48,5	4,2	19,1	1,8	0,2	2,1	76,9	2,29	7,2	0,3
		21,1	47,4	4,1	18,1	3,6	1,1	4,5	72,6	2,10	8,2	0,9
		19,1	44,8	5,6	16,1	3,6	1,0	9,8	69,5	1,73	9,5	3,7
		17,4	46,7	6,2	20,4	3,0	0,7	5,7	70,3	1,79	4,6	1,0
		18,5	40,6	5,6	22,7	3,7	1,3	7,6	64,7	1,34	10,5	6,4
		17,7	52,7	6,2	15,1	3,4	0,3	4,6	76,6	2,68	2,6	0,1
		17,7	52,7	6,2	15,1	3,4	0,3	4,6	76,6	2,68	2,6	0,1
d) Provinz RANONG												
(18)	Sa Ngung Lim Mine	19,2	51,7	4,3	19,8	2,3	0,5	2,2	75,2	2,35	4,4	0,1
		19,4	47,9	5,0	20,8	2,6	0,7	3,7	72,3	1,96	7,3	0,2
		16,6	47,6	4,5	18,9	5,9	1,3	5,1	68,7	1,98	5,0	4,9
		15,7	46,5	4,6	23,3	4,1	1,2	4,5	66,8	1,67	4,9	0,1
		16,9	45,8	4,7	23,2	4,4	0,9	4,1	67,4	1,68	6,9	0,1
		20,2	46,5	4,8	21,4	3,1	0,7	3,3	71,5	1,88	9,1	0,3
		18,3	48,1	4,9	20,8	4,5	0,7	2,7	71,3	2,05	5,7	0,2
		16,0	44,8	4,8	23,2	5,6	0,8	4,8	65,6	1,60	5,8	0,0
		20,1	46,7	4,9	21,1	2,7	0,7	3,8	71,7	1,87	6,1	0,1
		18,1	50,0	5,2	21,9	3,1	0,5	1,2	73,3	2,16	6,9	0,0
		17,4	41,4	4,2	22,8	4,6	1,2	8,3	63,0	1,33	5,0	0,2
		19,0	49,9	4,5	21,8	2,8	0,5	1,6	73,4	2,13	9,0	0,2
		17,0	49,4	4,6	21,4	3,3	0,8	3,5	71,0	1,98	7,6	0,0
		22,0	50,5	3,8	17,6	2,3	0,8	3,0	76,3	2,45	3,7	1,8
		19,0	55,7	4,2	18,0	1,8	0,6	0,7	78,9	2,98	2,8	0,0
		17,9	52,1	4,9	20,4	3,0	0,5	1,2	74,9	2,41	5,3	0,0

Fortsetzung der Tabelle 19:

	19,5	51,6	4,3	20,1	2,3	0,6	1,6	75,4	2,38	5,9	0,1
	17,0	49,0	4,4	21,7	4,0	0,8	3,1	70,4	1,98	6,3	0,1
	12,4	40,3	4,9	31,9	7,2	0,8	2,5	57,6	1,17	5,2	0,3
	17,2	47,0	4,6	22,9	3,6	0,9	3,9	68,8	1,75	8,8	0,0
	16,8	50,3	4,4	22,3	2,7	0,6	2,9	71,5	1,99	6,1	0,5
	15,0	47,8	5,6	22,3	5,9	1,2	2,2	48,4	1,95	6,1	0,1
	18,4	48,2	4,4	23,1	2,7	0,6	2,6	71,0	1,88	3,5	0,0
(19) Ranong Mining Comp.	22,0	47,3	5,3	19,9	3,4	0,3	1,7	74,6	2,19	2,4	0,6
	20,5	41,9	5,5	22,1	5,0	1,4	3,6	67,9	1,63	8,2	3,7
	19,5	43,7	5,9	21,2	5,0	0,7	3,9	69,1	1,74	3,4	0,4
	21,3	41,4	5,6	22,9	3,9	0,7	4,2	68,3	1,53	8,8	5,7
	21,3	46,0	5,2	19,9	3,1	0,7	3,7	72,5	1,95	6,7	0,6
	20,7	47,3	5,8	18,6	3,2	0,7	3,8	73,8	2,11	3,3	0,5
	18,3	46,8	5,7	21,2	3,5	0,7	3,9	70,8	1,86	5,7	0,9
	16,2	44,4	5,6	21,7	5,7	0,8	5,6	66,2	1,63	8,6	1,5
(21) Ngan Tha Wee Mine	17,3	43,6	4,9	24,3	5,7	0,7	3,6	65,8	1,56	6,4	0,5
	19,0	47,0	4,5	23,3	3,0	0,9	2,1	70,5	1,85	7,4	1,9
	21,8	47,9	4,5	21,2	2,5	0,5	1,4	74,2	2,12	9,1	1,2
	16,9	47,9	4,2	19,8	3,5	1,1	6,4	69,0	1,83	6,9	1,3
	21,0	45,7	4,9	21,3	3,5	0,9	2,7	71,6	1,94	7,2	2,4
	18,8	48,5	4,4	21,1	2,8	0,5	3,9	71,7	1,94	6,4	1,3
	23,3	45,4	4,8	21,7	3,3	0,5	1,0	73,5	2,00	5,6	1,2
	18,5	44,6	4,9	20,6	2,8	1,5	7,0	68,0	1,62	6,7	1,8
	17,8	43,7	5,5	23,5	6,3	1,2	4,1	65,0	1,52	15,1	4,9
	18,3	46,9	4,3	20,2	2,7	1,3	6,4	69,5	1,76	5,4	3,2
	19,4	49,9	3,2	21,2	2,6	0,9	2,8	72,5	2,08	7,6	3,0
	20,4	47,4	4,4	20,2	2,6	1,1	4,0	72,2	1,96	6,4	3,6
(22) Taksin Mining Comp.	19,9	56,4	4,4	15,7	2,5	0,3	0,8	80,7	3,42	4,5	0,6
	15,5	48,8	4,5	22,6	6,5	1,1	1,0	68,8	2,07	4,5	1,0
	19,7	51,5	4,3	18,2	2,3	0,7	3,3	75,5	2,39	5,3	2,4
	18,1	45,7	4,5	22,1	3,9	1,1	4,7	68,3	1,71	8,8	2,2
	16,9	49,2	5,5	21,2	6,0	0,7	0,5	71,6	2,27	9,6	0,5
	18,9	46,7	4,2	22,8	2,8	0,9	3,6	69,8	1,77	8,5	5,2
	15,2	48,4	5,5	23,6	5,9	0,9	0,5	69,1	2,01	5,7	1,2
	22,3	43,7	3,8	20,8	3,0	0,8	5,6	69,8	1,66	6,6	1,4
	16,9	46,8	4,7	21,9	4,4	1,0	4,3	68,4	1,79	12,8	2,1
	18,0	49,2	4,1	19,9	3,1	0,9	4,8	71,3	1,99	4,2	1,4
	18,4	48,8	4,3	21,1	2,5	0,9	4,0	73,5	1,94	4,3	2,5
	20,2	47,8	4,9	23,4	2,2	0,5	1,0	72,9	1,96	10,6	3,1
	19,4	46,5	5,1	20,6	3,0	0,9	4,5	71,0	1,85	7,9	3,0
	17,6	44,5	4,0	20,9	3,0	1,3	8,7	66,1	1,50	7,2	1,7
	19,5	47,3	4,6	19,5	3,3	0,9	5,0	71,4	1,93	7,7	3,5
	17,5	41,4	4,1	22,3	3,3	1,7	9,6	63,0	1,30	8,1	4,0
	19,3	47,8	5,0	21,4	3,5	0,7	2,4	72,1	2,01	5,6	1,2
	17,0	45,2	4,7	21,1	4,2	1,6	6,2	66,9	1,66	10,3	5,4
	16,9	48,4	4,6	22,4	4,1	0,8	2,8	69,9	1,92	5,3	1,6

1) Nr. der Lokalität siehe Abb. 2

BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Freie Universität Berlin — Technische Universität Berlin — Technische Fachhochschule Berlin

Bisher sind erschienen:

Reihe B

Heft 1: Joachim Steinbeck, Modellseismische Untersuchungen von Rayleighwellen unter besonderer Berücksichtigung einer Deckschicht von variabler Mächtigkeit. 128 S., 58 Abb., 1965. DM 25,—.

Heft 2: Peter Giese, Versuche einer Gliederung der Erdkruste im nördlichen Alpenvorland, in den Ostalpen und in Teilen der Westalpen mit Hilfe charakteristischer Refraktions-Laufzeit-Kurven sowie eine geologische Deutung. 218 S., 83 Abb., 1965. DM 40,—.

Heft 3: Joachim Meyer, Zur Modulation der erdmagnetischen Aktivität. 72 S., 26 Abb., 1973. DM 18,—.

Heft 4: Kurt Bram, Zum Aufbau der Kruste und des oberen Mantels im Bereich des westlichen Grabens des ostafrikanischen Grabensystems und im östlichen Zaire-Becken. Ergebnisse einer Untersuchung der Raumwellen von Nah-Erdbeben. 65 S., 32 Abb., 1975. DM 25,—.

Heft 5: Detlef Damaske, Der Weltzeitgang der erdmagnetischen Aktivität als magnetosphärischer Modulationseffekt. 75 S., 33 Abb., 1976. DM 20,—.

Heft 6: Michael Leppin, Modellversuche zur erdmagnetischen und magnetotellurischen Tiefensondierung mit Hilfe eines elektrolytischen Troges. 68 S., 39 Abb., 1977. DM 19,—.

Heft 7: Hussein El-Ali, Geothermische Modelle für ein Profil zwischen Südadria und Tyrrenis. 51 S., 20 Abb., 1978. DM 18,—.

Hefte 1–6: Vormalis „Geophysikalische Abhandlungen“ des Instituts für Geophysikalische Wissenschaften der FU Berlin

VERLAG VON DIETRICH REIMER IN BERLIN

Berlin 45, Unter den Eichen 57

BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Freie Universität Berlin – Technische Universität Berlin – Technische Fachhochschule Berlin

Bisher sind erschienen:

Reihe A

- Band 1 / Götz Knoche:** Zur Stratigraphie und Petrographie paläozoischer Sedimente am Ostrand der Serra S. Bruno (Kalabrien, Süditalien). 67 S., 48 Abb., 3 Taf., 1977. DM 19,—.
- Band 2 / Peter Eggert:** Sedimentpetrographisch-stratigraphische Untersuchungen in den Unterkreide-Serien und dem Bolgenkonglomerat (Oberkreide) der Feuerstätter Decke im Allgäu und Voralberg, 167 S., 38 Abb., 18 Taf., 1977. DM 35,—.
- Band 3 / Horst Grotjohann:** Die Korrelation von Geochemie und Faziesdifferenzierung im erzhöffigen Muschelkalk (Mitteltrias) der Ostalpen. 70 S., 34 Abb., 5 Taf., 10 Tab., 1978.
Friedrich F. Helmdach: Nichtmarine Ostrakoden aus der spanischen Oberkreide. 8 S., 5 Abb., 1 Tafel, 1978. DM 23,—.
- Band 4 / Christian Preller:** Trend- und Spektralanalysen von Grundwasserstandsganglinien und klimatologischen Reihen zur Ermittlung der Grundwasserneubildung in drei Gebieten von Berlin (West). 84 S., 27 Abb., 22 Taf., 3 Tab., 1978. DM 19,—.
- Band 5 / Mohamed Alwashe:** Luftbild- und Satellitenbild-Interpretation des lithologischen und tektonischen Baus im Nördlichen Tibesti-Gebirge (Ehi Méché und Tirenno), Tschad. 110 S., 26 Abb., 31 Taf., 22 Tab., 8 Kart., 1978. DM 38,—.
- Band 6 / Nigem Yusuf:** Mikropaläontologische und geochemische Untersuchungen an Bohrkernen aus dem Roten Meer. 77 S., 23 Abb., 9 Tab., 1978. DM 19,—.
- Band 7 / Heiner Krieger:** Hydrogeologische Untersuchungen zur Grundwasserneubildung in der Bitburger Mulde (Kylltal). 109 S., 31 Abb., 16 Tab., 1 Kart., 1978. DM 24,—.
- Band 8 / Werner Schwarzhans:** Otolithen aus dem Unter-Pliozän von Südsizilien und der Toscana. 52 S., 4 Abb., 13 Taf., 1978.
Thomas Schlüter und Werner Schwarzhans: Eine Bonebed-Lagerstätte aus dem Wealden Süd-Tunisiens (Umgebung Ksar Krerachfa). 14 S., 8 Abb., 3 Taf., 1978. DM 24,—.
- Band 9 / Thomas Schlüter:** Zur Systematik und Palökologie harzkonserverter Arthropoda einer Taphozönose aus dem Cenomanium von NW-Frankreich. 150 S., 99 Abb., 13 Taf., 1978. DM 35,—.
- Band 10 / Hans-Joachim Bauer:** Der Münsterländer Kiessandzug, Geologie, Hydrologie, Hydrochemie und Wasserwirtschaft. 136 S., 90 Abb., 25 Tab., 1979. DM 28,—.
- Band 11 / Peter Arndt:** Zinngehalte in Schwermineralien aus thailändischen Zinnseifen (Beiträge zur Prospektionsmethodik und wirtschaftsgeologischen Analyse von Zinnseifen). 96 S., 11 Abb., 5 Taf., 39 Tab., 1979. DM 24,—.
- Band 12 / Emanuel Pluhar:** Die Geochemie von Monaziten und ihre Anwendung bei der Prospektion von Zinnerzen. 59 S., 14 Abb., 5 Taf., 19 Tab., 1979. DM 19,—.

VERLAG VON DIETRICH REIMER IN BERLIN

Berlin 45, Unter den Eichen 57