

Zur Erdölgeologie des Küstenbeckens von Sergipe-Alagoas, Brasilien

Autor(en): **Rüefli, Werner**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **32 (1965-1966)**

Heft 83

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-193996>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Zur Erdölgeologie des Küstenbeckens von Sergipe-Alagoas, Brasilien*

Mit 15 Figuren im Text

VON WERNER RÜEFLI, Egerkingen

Inhalt

Zusammenfassung – Abstract

1. Geographische Situation, Problemstellung und stratigraphisches Schema
 2. Stratigraphie der Subsurface
 3. Ergänzungen zum Normalprofil der Terrainaufschlüsse
 4. Strukturelle Entwicklungen und Paläogeographie
 5. Erdölmöglichkeiten
 6. Schlussfolgerungen
- Literaturverzeichnis

Zusammenfassung – Abstract

Auf Grund einer 1963 durchgeführten Untersuchung von 72 Bohrungen und der bis dahin verfügbaren Feldaufnahmen, wird die Stratigraphie der Subsurface diskutiert und diejenige der Terrainaufschlüsse durch neue Profile des Autors ergänzt. Als vorläufiges Resultat wird ein Surface-Subsurface zeit- und lithostratigraphisches Schema vorgelegt.

Tektonische Vorgänge und Erdölmöglichkeiten in diesem kombinierten, intra- und perikratonischen Becken werden im Lichte der neugewonnenen regionalen Faziesverteilung kurz diskutiert und die paläogeographische Einordnung im südatlantischen Raum präzisiert.

On the basis of an investigation made during 1963 of 72 exploration wells, and of all available maps, the subsurface and surface stratigraphy are discussed and completed. As a preliminary result, a surface-subsurface scheme is presented.

Tectonics and oilpossibilities in this combined intra- and pericratonic basin are shortly reviewed in the light of the newly gained picture about facies distribution, and the basin's paleogeographic situation in the Southatlantic surroundings is described.

1. Geographische Situation, Problemstellung und stratigraphisches Schema

Das Becken von Sergipe-Alagoas (Fig. 1) gehört, auf Grund der im Jahre 1963 entdeckten Erdölvorkommen bei Carmopolis in Sergipe, zu jenem Explorationsgebiet Brasiliens, dem von der nationalen Erdölgesellschaft PETROBRAS heute die Hauptaufmerksamkeit geschenkt wird.

An der Nordostküste Brasiliens gelegen, ist es ca. 320 km lang und durchschnittlich 30 - 40 km breit. Zu diesem Landstreifen kommt noch ein Schelf, der bis ca. 15 km in

* Publiziert mit freundlicher Erlaubnis der Petrobras, Rio de Janeiro.

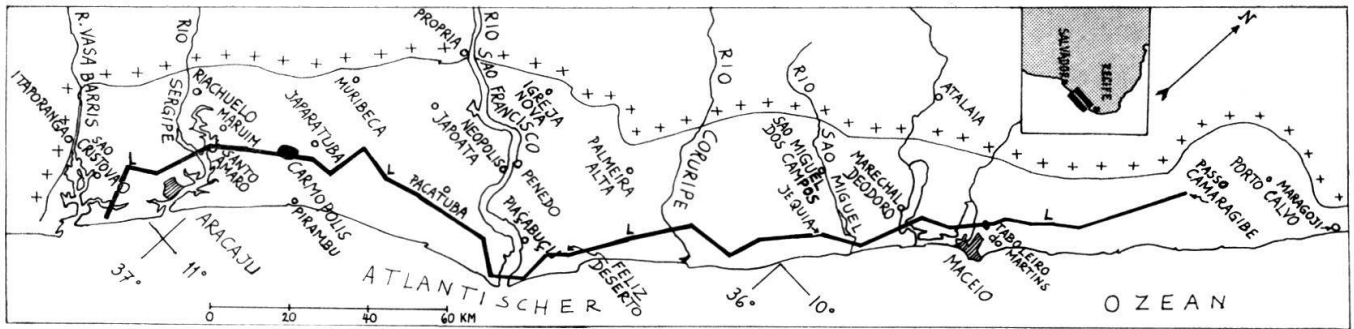


Fig. 1: Geographische Lage des Sergipe-Alagoas-Beckens und Ortsnamen. L bezeichnet die in Fig. 5 wiedergegebene Längssekction.

SURFACE		SUBSURFACE			
Litho-Stratigraphie	Alter	Alter	Fossilien	E-log Einheit	Lithofazies - Einheiten
Vasantes Formation	Pleistozän	Quartär bis Jungtertiär	Pollen	Sequenz 9	Vasantes/Barreiras Formation
Barreiras Formation	Pliozän				
Calumbi Formation	Maastricht	Paläozän bis Ober-Turon	Foraminiferen	Sq. 8	Fazies k, i, Calumbi Shale
Sapucari-Jaranjeiras Fm	Unter-Turon	Untersanton bis Turon	Foraminiferen	Sq. 7	Sapucari-Lar. Fm, Fazies h
Maruim Formation	Oberalb bis Oberapt	Alb bis Apt	Foraminiferen Ostrakoden Pollen	Sq. 6	Maruim Formation, Fazies c2, g, f, e und d
Riachuelo Formation					
Sao Miguel Kalk	? Unterapt	? Unterapt	Ostrakoden Pollen	Sq. 5	Shale 3, 2 und 1 Fazies d, c1 und b Leithorizont x
Morro do Chaves					
Muribeca Formation					
Konglomerat Fm	Weald	Prä- Apt Unterkreide bis Oberster Jura	Ostrakoden Pollen	Sq. 4	Fazies d, c1, b und a
Sanolstein-Shale Fm					
Shale-Siltstein Fm					
Delta Formation					
Rote Ton Formation				Subsequenz 33 Sbsq. 32	Delta Formation Rote Ton Formation
Chert Formation	Perm	Perm	Pollen	Sbsq. 31	Chert Formation
Batinga Formation	Pennsylvan	Pennsylvan	Pollen	Sq. 2	Batinga Formation
Estancia Formation	? Paläozoikum	? Paläozoikum		Sq. 1	Sehr leicht metamorphe Sedimente, metamorphe Para- und Orthogesteine, Intrusivgesteine
Vasa Barris Gruppe	bis	bis		(Basale Sequenz)	
Miaba Gruppe	Präkambrium	Präkambrium			
Kristalline Schiefer alte Intrusivgesteine					

Fig. 2: Stratigraphisches Schema Sergipe-Alagoas-Becken.

den Atlantik hinaus ohne besondere Schwierigkeiten explorierbar ist und praktisch keinen extrem starken Stürmen ausgesetzt ist. Total sind also gegen 16 000 km² explorierbare Oberfläche vorhanden.

Die Genese des Sergipe-Alagoas-Beckens steht mit der Auftrennung des Gondwanalandes längs der südantlantischen Spalte in den afrikanischen und südamerikanischen Kontinent in ursächlichem Zusammenhang. Auf Grund dieser Erkenntnis war es ein besonderes Anliegen dieser Untersuchung, einerseits die tektonischen Zusammenhänge im Becken selbst, und andererseits ihren Einfluss auf die Fazies zu studieren, um Rückschlüsse auf die Erdölmöglichkeiten zu erlangen. Der Weg zur teilweisen Lösung dieser verschiedenen Probleme konnte nur mit der detaillierten Studie der stratigraphischen Verhältnisse beginnen.

Da es Sache der PETROBRAS ist, die im Gebrauch stehenden unpublizierten Namen später zu veröffentlichen, so wurden, ausser den bereits in die Literatur eingegangenen Namen, im stratigraphischen Schema nur generelle Bezeichnungen oder Buchstaben für neue stratigraphische Einheiten verwendet (Fig. 2).

2. Stratigraphie der Subsurface

Die stratigraphische Analyse bestand in der Zerlegung des bestehenden, mehrheitlich Zeit-Gestein parallelen Schemas in Lithologie und paläontologisch gesichertes Alter. Da bisher nicht mit eigens für die beckenweite Korrelation definierten E-log Einheiten gearbeitet worden ist, so wurden solche eingeführt, als Sequenzen und Subsequenzen benannt und definiert, und gemeinsam mit Fazies und Alter in ein neues Subsurface stratigraphisches Schema eingeordnet. Es wurde darauf geachtet, genügend Spielraum für zukünftige Korrekturen und Ergänzungen frei zu lassen.

Die E-log Einheiten werden hier als angenähert zeitstratigraphische betrachtet, da sie fortlaufend mittels neuer paläontologischer und palynologischer Daten ergänzt und korrigiert werden. Es wurden 9 Sequenzen definiert, von denen die dritte noch in 3 Subsequenzen unterteilt wurde. Eine detailliertere Unterteilung für beckenweite Korrelationen schien vorläufig nicht möglich. Die in den besonders wichtigen Sequenzen 2 bis 8 enthaltene Fazies ist in 22 lithofaziellen Einheiten zusammengefasst.

Sämtliche Mächtigkeiten in der Subsurface sind scheinbare, da nur in wenigen Abschnitten Dipmeter-Logs zur Verfügung standen und diese zudem aus zeitlichen Gründen nicht verarbeitet werden konnten.

Von unten nach oben handelt es sich um folgende stratigraphische Einheiten (vergleiche mit Fig. 2):

Sequenz 1 (Präkambrium bis ?Altpaläozoikum)

Obergrenze: Diskordanz zwischen angebohrtem Kristallin (meistens saure Intrusiva oder metamorphe Schiefer), oder dessen nur sporadisch metamorphe, bis sehr leicht metamorphe, sedimentäre Überdeckung: Miaba- und Vasa-Barris-Gruppe (PETROBRAS), Estancia-Formation (BENDER 1959) im Liegenden, und der mittels Pollen als Pennsylvan bestimmten Sequenz 2 im Hangenden.

Verbreitung: Kristalliner Untergrund wurde in Sergipe in zahlreichen Bohrungen erreicht, so 4 km NNE von Itaporanga, im Mosqueiro-Graben, bei Riachuelo über der Maruim-Schwelle, fast in allen Bohrungen über dem Sergipe-Hoch, ferner im Japarutuba-Graben (Bruchkontakt), und über der Pacatuba-Schwelle. In Alagoas über dem Penedo-Horst, im NE-Randgebiet des Sao-Francisco-Grabens bei Feliz-Deserto, über dem Palmeira-Hoch westlich der Sinimbu-Bruchzone, südlich Sao Miguel dos Campos und bei Passo Camaragibe im Alagoas-Graben. Nur über dem Penedo-Horst wurden einige Meter Miaba-Gruppe, und zwar Quarzite der Itabaiana-Formation, durchteuft.

Sequenz 2 (Pennsylvan)

Basis: Die für Sequenz 1 definierte Obergrenze.

Obergrenze: Zufolge sehr ähnlicher Lithologie in den Grenzschichten von Sequenz 2 und 3 ist diese Grenze im E-log nur schwer korrelierbar. Die E-logs aus den Bohrungen an der Grenze des Japarutuba-Grabens gegen das Sergipe-Hoch lassen dort eine korrelierbare, schwache Diskordanz erkennen. Zwischen Feliz Deserto und Bohrungen über dem

Penedo-Horst ist es eine Parakondanz. Diese Diskordanz-Parakondanz trennt in allen bisherigen pollenstratigraphischen Datierungen liegendes Pennsylvan von hangendem Perm. Sie gilt als Obergrenze von Sequenz 2 resp. Basis der Sequenz 3. Es ist aber durchaus möglich, dass entweder unter dieser Diskordanz als Jüngstes noch Perm, oder darüber als ältestes noch Pennsylvan gefunden werden könnte.

Fazies, Korrelation: Einzige lithostratigraphische Einheit der Sequenz 2 ist die von BENDER 1959 definierte Batinga-Formation; siehe dort.

Mächtigkeit, Verbreitung: 135 m über der Pacatuba-Schwelle. Die Mächtigkeit nimmt, ohne wesentliche fazielle Veränderungen, von SW nach NE allmählich zu. Die Sequenz wurde durchteuft im Japarutuba-Graben, über der Pacatuba-Schwelle, dem Penedo-Horst, im Sao-Francisco-Graben und bei Sao Miguel im Alagoas-Graben. Im Mosqueiro-Graben ist die Sequenz bisher nicht nachgewiesen.

Sequenz 3 (Perm, Oberster Jura, Grenzschichten Jura-Neokom):

Basis: Die für Sequenz 2 angegebene Obergrenze.

Obergrenze: Scheinbare Konkordanz zwischen einer praktisch fossillosen epikontinentalen Fazies im Liegenden und prodeltaischer Fazies im Hangenden. Die Kontinentalfazies enthält vereinzelte oberjurassisch-neokome Ostrakoden (Metacypris), und die prodeltaische Fazies enthält neokome Cypridea-Arten. Die E-log-Grenze ist scharf und ausgezeichnet korrelierbar. Sie ist eine typische Faziesgrenze, die aber scheinbar mit einer Zonengrenze zusammenfällt. Diese Erscheinung ist wohl ebenfalls faziesbedingt, doch hat sich das Problem einer delikateren zeitstratigraphischen Grenzziehung als Folge etwaiger Faziesvermischung bisher nicht gestellt.

Fazies (von unten nach oben), Korrelation:

Chert-Formation: Bis zu 300 m mächtige Sand- und Siltsteine, Karbonatlagen, sandige und karbonatische Chertlagen, Chert und Shale. Das Milieu ist kontinental, deltaisch, ?limnisch. Als Alter gilt auf Grund von Pollenuntersuchungen Perm.

Aufschlüsse dieser Formation sind im Terrain aus verschiedenen Profilen bekannt (Fig. 12 - 13).

Über der Pacatuba-Schwelle enthielt die Chert-Formation eine sehr gute Öl-Show von 34,5° API in sandigen Chertlagen von unterschiedlicher Porosität.

Rote-Ton-Formation: 50 - 70 m mächtige braunrote Shales und rote bis purpurne Tonschiefer, zuweilen etwas siltig oder kalkig. Kontinentales Milieu. Im Terrain nur bei Igreja Nova sehr spärlich in ein paar Erosionsanrissen aufgeschlossen. Auf Grund von Pollen und Ostrakoden als jüngster Jura, eventuell als basale Kreide bestimmt. Die Einheit korreliert mit der Aliança Formation des Reconcavo-Tucano-Grabens von Bahia.

Delta-Formation: Bis 125 m mächtige, epikontinentale, feldspatführende, kreuzgeschichtete, mittel- bis grobkörnige Sandsteine und konglomeratische Sandsteine, teilweise verkieselt oder auch mit kalzitischem Zement, mit dünnen Zwischenlagen von dunkelgrauen bis braunen Shales. Farbe der Sandsteine ist rötlichgrau bis grüngrau. Pollen und Ostrakoden ergeben frühestes Kreidealter. Gutes Reservoirgestein. Gas-Show bei Aracaju.

Terrainaufschlüsse sind gut kartierbar (Fig. 11-12) zufolge eines energischen Reliefs im Ausbissgebiet der Formation.

Die Formation korreliert zeitstratigraphisch und lithofaziell mit der Sergi-Formation des Reconcavo-Tucano-Grabens von Bahia.

Subsequenzen: Alle drei lithostratigraphischen Einheiten werden in der Subsurface als angenähert zeitstratigraphische Einheiten korreliert, und zwar als Subsequenzen 31, 32 und 33 (von unten nach oben).

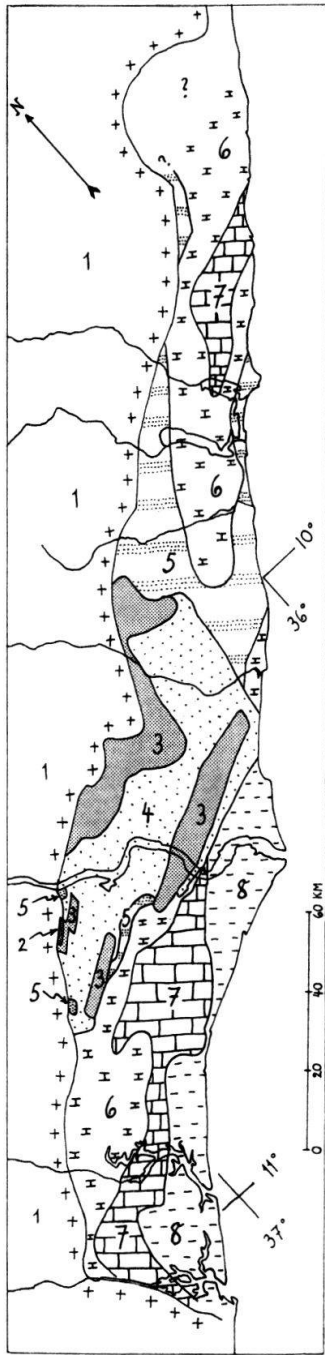


Fig. 3: Subcrop Karte Top Sequenz 8 (Top Paleozän) unter den spättertiären-quartären Formationen Barreiras und Vasantes.

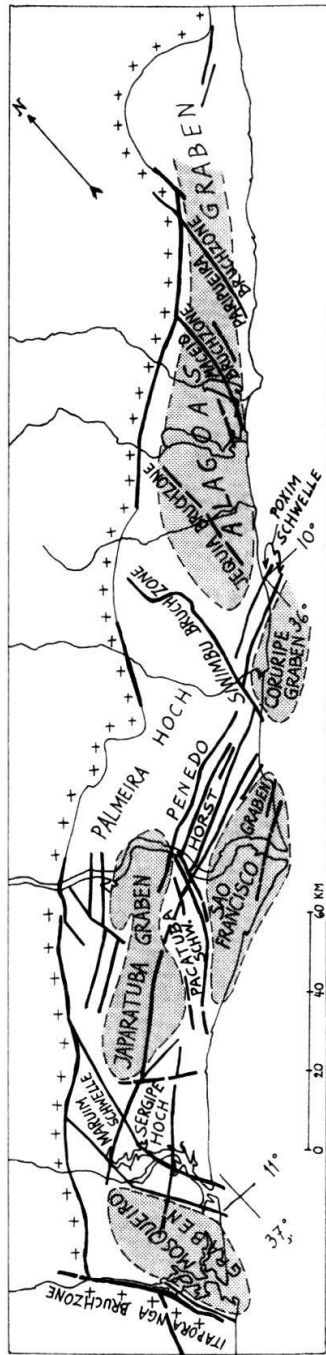


Fig. 4: Tektonische Skizze Sergipe-Alagoas-Becken. Die angegebenen Hauptstrukturen sind das Ergebnis der Interpretation von Felddaten, Seismik, Gravimetrie und E-log. Diese Strukturen wurden berücksichtigt in der Konstruktion des Längsprofils von Fig. 5.

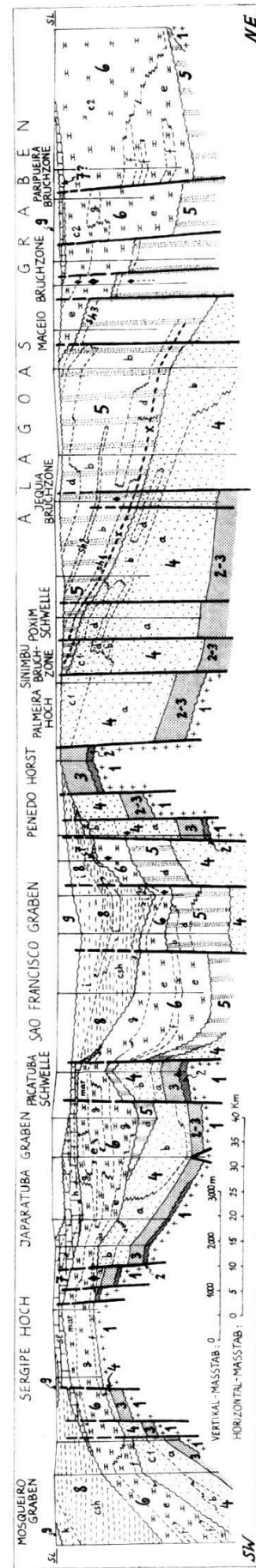


Fig. 5: Längsprofil Sergipe-Alagoas-Becken. Die Zahlen 1-9 bezeichnen E-log Arbeitseinheiten (Sequenzen); die Buchstaben beziehen sich auf die im Text erläuterten Lithofazies-Einheiten. Vergleiche auch mit Fig. 2.

Verbreitung: Gleich wie für Sequenz 2. Dazu kommt noch der Westrand des Mosqueiro-Grabens und der Alagoas-Graben zwischen Poxim-Schwelle und Jequia-Bruchzone. Auch für Sequenz 3 ist eine allmähliche Mächtigkeitzunahme von SW nach NE festzustellen.

Sequenz 4 (Grenzschichten Jura-Neokom und nicht näher differenzierte Prä-Apt Unterkreide)

Basis: Die für Sequenz 3 definierte Obergrenze.

Obergrenze: Sie ist gekennzeichnet durch eine deutliche, durch einen Hiatus verursachte Veränderung im Pollenspektrum, als auch eine im E-log korrelierbare Diskordanz in Sergipe und Parakonkordanz in Alagoas. Im gesamten Küstenstreifen stellen sich über dieser Diskordanz auch bei den Ostrakoden vermutlich ins Unterapt zu stellende Cypridea-Arten ein, die sich von den Cypridea-Arten der Prä-Apt-Unterkreide unterscheiden lassen. Diese Diskordanz gilt als Obergrenze der Sequenz 4 resp. Basis von Sequenz 5, ungeachtet der Möglichkeit, dass sich der Hiatus im Normalprofil auf Grund späterer paläontologischer Präzisierungen noch innerhalb der nicht differenzierten Prä-Apt-Unterkreide, oder des Unterapts fixieren lasse.

Fazies: Deltisch-estuarin mit unregelmässig verteiltem Karbonatgehalt und randlich eingestreuten Konglomeraten. In den ältern Schichtgliedern und gegen das Zentrum der Teiltröge wiegt die prodeltische Fazies a vor. Die deltalische Fazies b besetzt die Randgebiete der Teiltröge und geht ihrerseits lateral und vertikal gegen den westlichen Hauptbeckenrand in die Konglomerate c 1 über. Die Karbonatfazies d ist unregelmässig und scheinbar strukturunabhängig verteilt, erreicht aber noch nicht ihre Hauptentwicklung.

Fazies a: Alternierende Shales, Siltsteine und feine Sandsteine mit durchschnittlichem Sand/Shale-Verhältnis von 0,5–2. Die Shales sind dunkelgrau bis schwarz, stellenweise bituminös (?primär), seltener rötlichbraun, hart, brüchig, mit fein zerstäubtem Pyrit, etwas kalkig, etwas kohlige Substanz. Sandsteine sind fein, seltener grob, zuweilen Kalzit zementiert. Porosität und Permeabilität sind allgemein gering. Das Milieu ist deltalisch-estuarin bis prodeltisch, stellenweise euxinisch, nichtmarin. Diese Fazies setzt normalerweise innerhalb der Sequenz 4 und vorwiegend als deren Ältestes über grosse Teile des Beckengebiets transgressiv über der Delta-Formation ein. Sie korreliert mit der Shale-Siltstein-Formation der Japoata-Gruppe, Fig. 11–12. Sie enthält zahlreiche unbedeutende Shows am Südabfall des Penedo-Horsts bei Feliz Deserto, sowie in lateralen Faziesübergängen zu Fazies b bei Carmopolis, und enthält vermutlich grössere Muttergesteinslinsen.

Fazies b: Alternierende Sandsteine und Shales mit durchschnittlichem Sand/Shale-Verhältnis von 2–3. Die Sandsteine sind fein bis grob, zuweilen Glimmer führend, oft leicht kalkig, hart bis zerbröckelnd, grau bis graugrün. Shales sind siltig, sandig, grau, grünlich bis schwarz, stellenweise bituminös oder karbonatisch. Das Milieu ist vorwiegend deltalisch bis deltalisch-estuarin, nichtmarin. Diese Fazies korreliert mit der Sandstein-Shale-Formation der Japoata-Gruppe, Fig. 11–12. Sie ist ölführend bei Carmopolis in Übergängen zu Fazies a und ist eine bedeutende, potenzielle Reservoirfazies. Auch in ihr sind vereinzelte Linsen von Erdölmuttergestein möglich.

Fazies c 1: Konglomerate und konglomeratische Sandsteine mit Sand/Shale-Verhältnis grösser als 5. Komponenten sind eckig bis kantengerundet und bestehen hauptsächlich aus Quarz, Quarzit, Granit und kristallinen Schiefen. Siltig-sandige, manchmal etwas kalkige Matrix. Farbe vorwiegend bräunlich bis graubraun, oder rötlich. Milieu: Kontinental bis litoral nichtmarin, oder brackisch. Die Fazies korreliert mit der Konglomerat-Formation der Japoata-Gruppe, Fig. 11. Verschiedene Shows in Sergipe; produktiv in Carmopolis (RASSMUS 1966) mit schwerem Öl von 21° API.

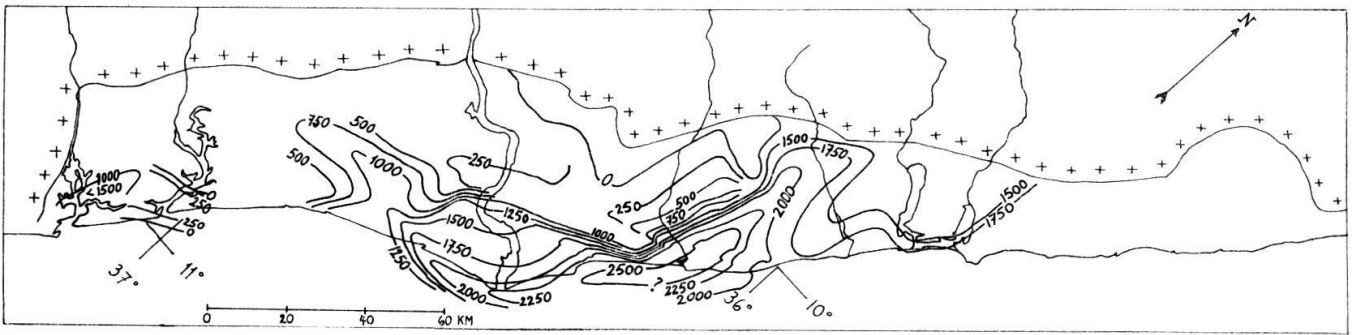


Fig. 6: Isopachen Sequenz 4 (Prä-Apt Unterkreide).

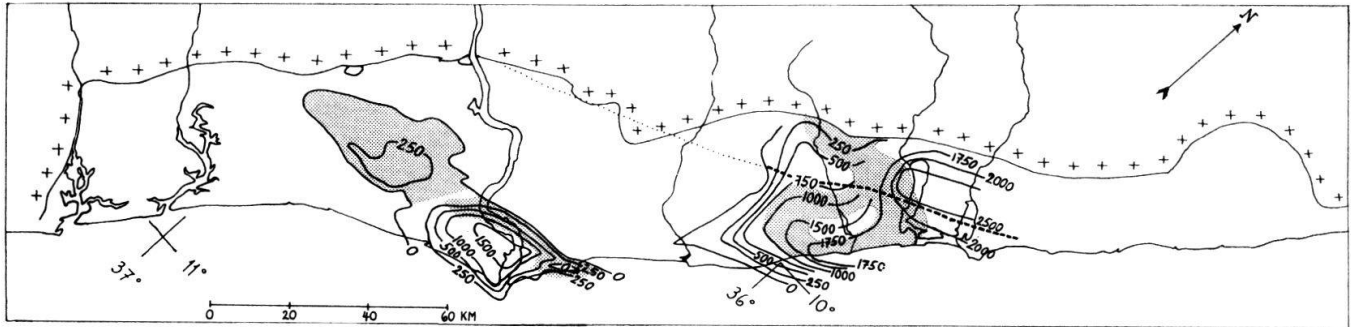


Fig. 7: Isopachen Sequenz 5 (? Unterapt). Die graue Fläche bezeichnet den Subcrop des Sao-Miguel-Kalkes im Alagoas-Graben und den Subcrop und Terrainausbiss der kombinierten Sao-Miguel-Kalke – Muribeca-Formation – Morro-do-Chaves-Kalke im Japarutuba- und Sao-Francisco-Graben.

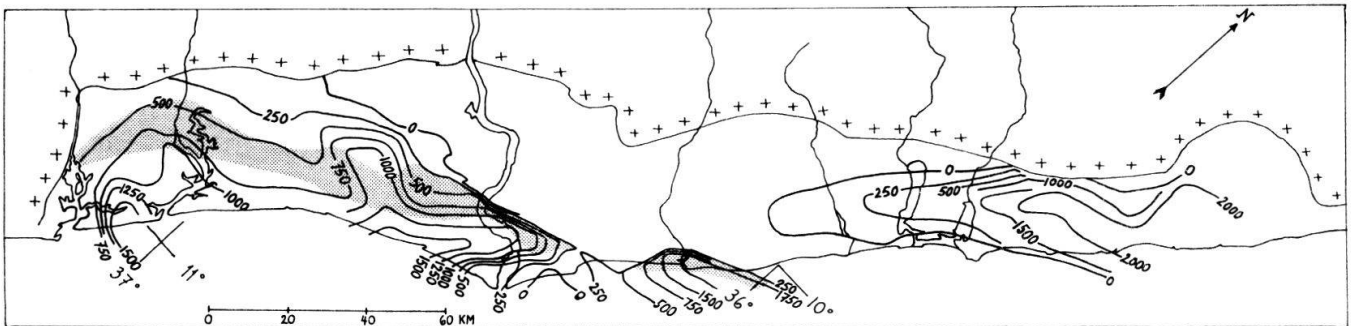


Fig. 8: Isopachen Sequenz 6 (Apt bis Alb). Die graue Fläche bezeichnet den Subcrop und Terrainausbiss der Maruim-Formation.

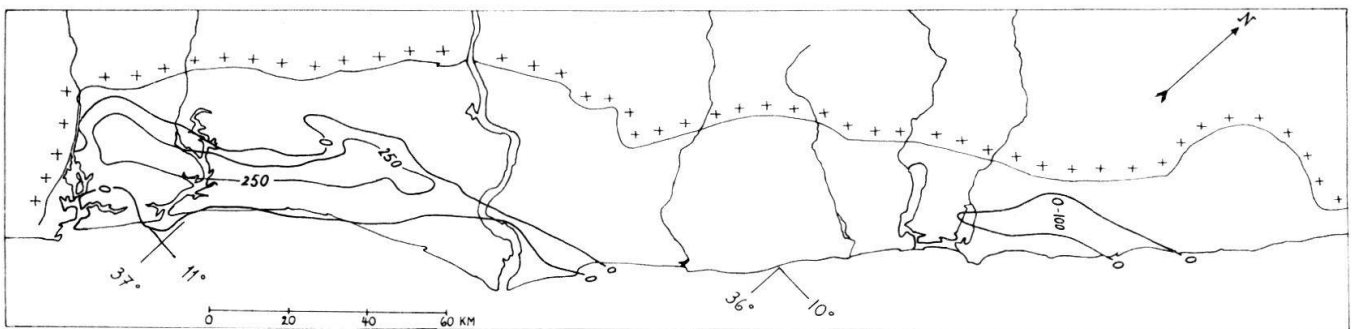


Fig. 9: Isopachen Sequenz 7 (Turon bis Untersanton).

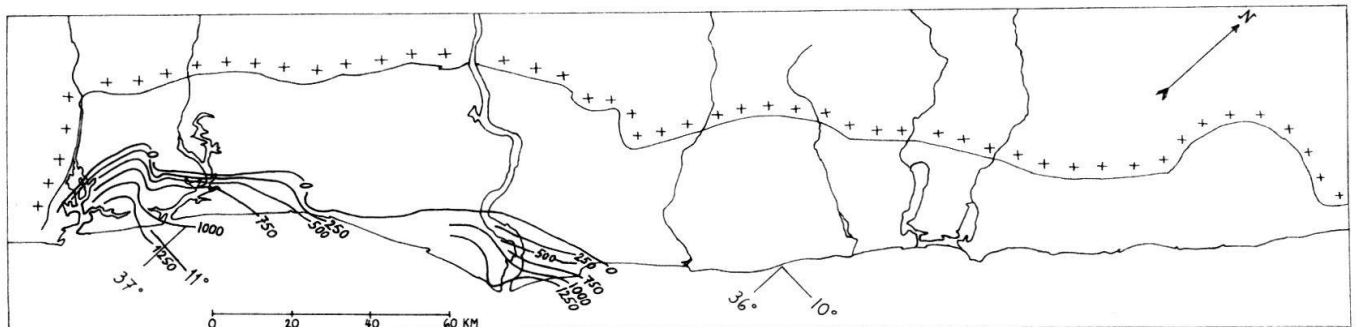


Fig. 10: Isopachen Sequenz 8 (Obercampan bis Paleozän).

Fazies d: Sehr kalkige bis dolomitische Sandsteine, grau, graugrün, weisslich. Dolomite und Kalke, lithographisch bis mikrokristallin, gelegentlich kreidig, ineinander übergehend. Shale Linsen, grau bis grün, gelegentlich bituminös. Nichtmarin. Die Fazies ist ausserordentlich unregelmässig verbreitet und scheinbar strukturunabhängig. Innerhalb der Terrainaufschlüsse von Sequenz 4 sind keine lithofaziell mit Fazies d korrelierbaren Einheiten kartiert worden. Bisher keine Shows.

Mächtigkeit und Paläogeographie (Fig. 6): Trotzdem die Sequenz 4 der Prä-Sequenz 5 Erosion in Sergipe ausgesetzt war, so lässt sich dennoch eine zur Zeit ihrer Ablagerung existierende prodeltaische Rinne erkennen, die sich vom Japarutuba-Graben über die Pacatuba-Schwelle in den Sao Francisco- und Coruripe-Graben erstreckte, und von da über die Poxim-Schwelle in die Gegend von Sao Miguel dos Campos reichte. In ihr hat Sequenz 4 bis zu 2500 m Mächtigkeit. NW der Vortiefe schliesst sich ein weitgeschwungenes Delta an.

Sprunghafte Mächtigkeitsveränderungen im Winkel zwischen Pacatuba-Schwelle und Penedo-Horst, und längs der Sinimbu-Bruchzone lassen frühe Nord-Süd gerichtete Störungszonen erkennen.

Korrelation: Sequenz 4 korreliert gesamthaft mit dem Sedimentkomplex der Formationen Itaparica, Candeias, Ilhas und Sao Sebastiao des Reconcavo-Tucano-Grabens von Bahia.

Sequenz 5 (?Unterapt)

Basis: Die für Sequenz 4 definierte Obergrenze.

Obergrenze: Ein im palynologischen Spektrum hervortretender, beträchtlicher Hiatus, der mit einem stellenweise abrupten lithologischen Fazieswechsel und mit einer im E-log korrelierbaren Parakonkordanz-Diskordanz übereinstimmt. Letztere gilt als Obergrenze der Sequenz 5 resp. Basis von Sequenz 6 ungeachtet der Möglichkeit, dass sie durch weitere paläontologische Datierung eventuell noch innerhalb die nicht weiter präzisierter Prä-Apt Unterkreide oder innerhalb das fragliche Unterapt oder noch jüngeres Apt zu liegen kommt.

Fazies: Sequenz 5 enthält vor allem die nichtmarine deltaische Fazies b und die limnische Karbonatfazies d in Wechsellagerung und zahlreichen lateralen Übergängen. Fazies b ist an der Basis der Sequenz noch typisch wie in Sequenz 4, d.h. noch ein eigentlicher Japoata-Sandstein, wird aber mit dem Jüngerwerden innerhalb Sequenz 5 langsam atypisch molasseartig. Zugleich erreicht die Karbonatfazies ihre grössten Mächtigkeiten. Bei Jequia schalten sich unregelmässig auch etwa die Konglomerate c 1 ein. Fazies b hat in dieser Sequenz zahlreiche gute Shows, so bei Jequia, Coqueiro Seco (Gas und 30° API Öl) und Taboleiro do Martins bei Maceio. Der gut korrelierbare Leithorizont x und die als Leitschichten verwendeten Shale Bänder 1, 2, und 3 erleichtern die Korrelationen innerhalb der Sequenz erheblich.

Leithorizont x (x in Fig. 5): Kalk, grau, siltig, dicht, mit Silt- und Sandsteinlinsen. Mächtigkeit 5–25 m. Lithologisch zu Fazies d gehörend, nimmt er insofern eine Sonderstellung ein, als er ca. 200–250 m über der Basis von Sequenz 5, im Alagoasgraben, von der Sinimbu Bruchzone bis nach Marechal Deodoro durchgehend gut korrelierbar ist. Die nordwestliche Begrenzung des Horizonts ist wiedergegeben in Fig. 7 (gestr. Linie).

Shale 1 (sh 1 in Fig. 5): Schwarzgrau bis schwarz, Glimmer führend, kalkig, siltig bis sandig, mit Siltstein Linsen. Mächtigkeit 10–135 m. An der Basis von Sequenz 5 als etwas unregelmässig durchziehende Shale-Schicht im Küstenstreifen zwischen Poxim-Schwelle, Jequia und Barra Sao Miguel. Geht nordostwärts in Fazies b und d über.

Shale 2 (sh 2 in Fig. 5): Dunkelgrau bis schwarz, stellenweise bituminös, kalkig, siltig. Mächtigkeit 30–65 m. Erscheint 700–1000 m über der Basis von Sequenz 5, sehr regelmässig und darum gut erkennbar. Ausdehnung im Dreieck Poxim-Schwelle, Sao Miguel dos Campos, Barra Sao Miguel.

Shale 3 (sh 3 in Fig. 5): Dunkelgrau, graugrün, grünlich-bräunlich, Glimmer führend, siltig, sandig, etwas dolomitisch, stellenweise bituminös. Mächtigkeit 50–200 m. An der Obergrenze von Sequenz 5. Gut korrelierbar in der Gegend von Marechal Deodoro bis Maceio und vermutlich von da gegen Nordosten ins tiefere Grabengebiet des Alagoas-Grabens.

Alle drei Shale-Schichten zeugen von periodisch auftretender, prodeltaischer, euxinischer Fazies, die während des fraglichen Unterapts im Alagoasgraben von SW nach NE migrierte. Alle drei Schichtglieder enthalten vermutlich Ölmuttergesteine und sind zugleich auch Abdichtungsgesteine.

Mächtigkeit und Paläogeographie (Fig. 7): Auf der Isopachenkarte erkennt man einen spärlichen Rest von Sequenz 5 im Japaratuba-Graben, bis zu 1500 m im Sao-Francisco-Graben und mehr als 2500 m im Alagoas-Graben. Obwohl die Prä-Sequenz 6 Erosion (im Alagoas-Graben vielleicht zum Teil subaquatisch) den ursprünglichen Isopachverlauf verschleiert, so ist aus der offenkundigen Parallelität der Isopachen mit den SW-NE streichenden Strukturen auf einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den beiden zu schliessen. Besagte Strukturrichtung ist wohl ausgesprochen Sequenz 5 und Prä-Sequenz 6 aktiv.

Korrelation: Die drei bedeutendsten Aufschlüsse der Sequenz 5 sind die Muribeca-Formation, Fig. 11, das Morro-do-Chaves-Profil, Fig. 14, und der Sao-Miguel-Kalk am Mittellauf des Rio Sao Miguel östlich des Beckenrandes. Es ist nicht ausgeschlossen, dass wegen der Heraushebung gegen SW und dadurch verursachtes Auskeilen von Sedimenten zwischen Muribeca-Formation und Sao-Miguel-Kalk, diese beiden Formationen im Sao-Francisco- und Japaratuba-Graben ein kontinuierliches Profil bilden (Fig. 5).

Diese Korrelationen müssen insofern als umstritten betrachtet werden, als nach DUARTE 1936, und BENDER 1959 die Aufschlüsse vom Morro do Chaves bei Propria und jene der Muribeca-Formation an der Typlokalität, Fossilien mariner Herkunft enthalten sollen, Fazies d dagegen, mit welcher diese Aufschlüsse hier lithofaziell korreliert werden, als nichtmarin gilt.

Sequenz 6 (Mittel- bis Oberapt, nicht näher differenziertes Apt-Alb, und Alb)

Basis: Die für Sequenz 5 angegebene Obergrenze.

Obergrenze: Eine im E-log nur schwierig korrelierbare Parakonkordanz, deren Liegendes ausser Apt und nicht näher differenziertem Apt-Alb als Jüngstes nur Alb enthält, und deren Hangendes bisher nichts Älteres als Turon enthält. Das Cenoman scheint also völlig zu fehlen, doch ist nicht ausgeschlossen, dass Cenomanreste entweder unter oder/und über der Parakonkordanz noch gefunden werden. Eine beträchtliche cenomane Schichtlücke ist tatsächlich vorhanden und diese gilt als Obergrenze der Sequenz 6 resp. Basis von Sequenz 7.

Fazies: In Sergipe besteht die Basis der Sequenz aus Linsen nichtmariner Kalk-Dolomitfazies d und der Konglomerate c2, welche mit der Evaporitfazies f (Ibura-Formation von PETRI 1962) wechsellagern. Das Hauptprofil darüber besteht aus der mehr randlichen, sandigen Fazies e, der mergelig-kalkigen Beckenfazies g und der oolithisch-kalkigen Schelffazies von Maruim. In Alagoas sind fast ausschliesslich und in sehr mächtigen Schichtpaketen die Evaporitfazies f, die Sandsteine e und die grobklastische Randfazies c2 abgelagert worden, während die Mergel g etwas zurücktreten und dort als die jüngsten Sedimente im zentralen Grabengebiet nur sporadisch auftreten (Fig. 5).

Fazies c 2: Konglomeratische Arkosesandsteine und Konglomerate, mit Graniten und kristallinen Schiefeln als Komponenten. Mit Linsen von mergeligen, mürben Sandsteinen, Karbonaten und Shales. Shale ist grau, bräunlich, grünlich, schwarz, zuweilen bituminös, splitterig, siltig. Karbonate sind braunschwarz, tonig, sandig, hart, dicht, mikrokristallin. In direktem Kontakt mit Fazies c 1 dürfte eine Unterscheidung durch lithologischen Vergleich der Komponenten unmöglich sein. Dagegen sind der Zement und die eingestreuten Shales in c 2 prodeltaischer, euxinischer. Fazies c 1 ist jedoch Prä-Apt Unterkreide bis fragliches Unterapt. Das Milieu ist ?brackisch, litoral bis prodeltaisch, und zum Teil euxinisch. Show bei Taboleiro do Martins (16,2° API). Fragliche c 2 Konglomerate bei Carmopolis sind ölführend. Potenzielles Reservoirgestein, möglicherweise auch Ölmuttergestein.

Diese Konglomerate sind im Alagoas-Graben zwischen Porto Calvo und Maceio ausserordentlich mächtig, bis zu 2200 m. Aufschlüsse sind östlich des Beckenrandes an der Strasse Atalaia-Maceio kartiert worden.

Fazies e: Vorwiegend nur schlecht zementierte, feldspatführende Sandsteine, mit siltig-toniger oder kalkiger Matrix. Konglomeratische Sandsteine, Ton, dolomitische Sande und sandige Shales. Olivgrün, bräunlich, gelblich. Quarzkörner eckig bis kantengerundet, Tone gelegentlich Kaolin führend, grau bis grün. Shales zuweilen bituminös, grau bis grün. Das Milieu ist paralisch, submarin deltaisch bis ?prodeltaisch, stellenweise euxinisch.

Randliche und basale Fazies der Sequenz 6. Mit Ausnahme des Gebietes NW des Japarutuba-Grabens und des Palmeira-Hochs im ganzen Grabengebiet verbreitet, jedoch mit deutlich zunehmender Mächtigkeit im Coruripe- und Sao-Franzisco-Graben. Korreliert lithofaziell mit den gröber klastischen, sandig-shaligen Anteilen der Riachuelo-Formation. Enthält zahlreiche Shows in Alagoas und Sergipe, das Taboleiro-do-Martins-Feld bei Maceio (16,2–34,6° API), Piaçabuçu (30,6°), und den Hauptanteil des Carmopolis-Feldes in Sergipe (14–21°). Potenzielle Reservoirfazies von stark unterschiedlicher Porosität (7–24% bei Carmopolis) und niedriger Permeabilität.

Fazies f: Siehe Ibura Formation PETRI 1962 und Salzfolge BENDER 1959. Marines, nicht näher differenziertes Apt-Alb setzt in Sergipe unmittelbar über den stratigraphisch höchsten Evaporiten ein, während in Alagoas auch über den Evaporiten noch keine eindeutig marine Sedimentfolge nachgewiesen ist. Es ist darum möglich, dass Fazies f nichtmarin ist (Salzsümpfe, Schotts, Salzseen). Die totale Profilmächtigkeit von tiefsten bis höchsten Einschaltungen beträgt im Mosqueiro-Graben 800 m, über dem Sergipe-Hoch 200 m, im Alagoas-Graben 1000 m.

In Sergipe sind bisher keine Terrainaufschlüsse der Evaporitfazies bekannt geworden. Gipsführende Aufschlüsse an der Küste nördlich von Maceio sind noch Gegenstand detaillierter Kartierungen.

Bisher keine Shows. Weder in Bohrungen noch im Terrain ist bisher Salzteknik festgestellt worden.

Fazies g: Mergel und Mergelkalke, dolomitisch, mit dünnen Einschaltungen von oolithischer Maruim Fazies. Die Kalke sind dicht, beige bis rötlich, mit Schalenrümern von unbestimmbaren Pelecypoden, Gastropoden, Echinodermen, ?Inoceramen. In Alagoas fehlen Fossilien eindeutig marinen Milieus. Tiefere Lagen sind dort gelegentlich kreidig, anhydritisch, kryptokristallin, bituminös. Das Milieu ist von unten nach oben zunehmend marin in Sergipe, nichtmarin aber möglicherweise brackisch in Alagoas.

Die Fazies korreliert mit den kalkig-mergeligen Anteilen der Riachuelo-Formation in Sergipe. Sie enthält zahlreiche unbedeutende Shows und ist in Faziesübergängen zu e ölführend bei Carmopolis (21° API). Als Reservoirfazies weniger geeignet. Enthält möglicherweise Linsen von Erdölmuttergesteinen.

Maruim-Formation (mar in Fig. 5): Für Formationsbeschreibung siehe BENDER 1959, für Fauna und Alter BEURLÉN 1961 b. Die Verbreitung in der Subsurface ist auf das Sergipe-Hoch, die Gebiete von Piaçabuçu und den Coruripe-Graben beschränkt. Die Formation geht lateral in Fazies g über und gehört zu den jüngsten Schichtgliedern der Sequenz 6. Vereinzelt Linsen dieser oolithisch-pisolithischen Fazies kommen auch schon in tieferen und mittlern Abschnitten von Sequenz 6 in Sergipe vor, aber auch im Alagoas-Graben zwischen Paripueira und Maceio innerhalb der dort ziemlich mächtigen Fazies g. Die Fazies enthält Ölseeps in der Gegend von Maruim und ist als Reservoir geeignet, besonders in Wechsellagerung mit Sandsteinzwischenlagen.

Mächtigkeit und Paläogeographie (Fig. 8): Die Ablagerung der Sequenz 6 ist zeitlich ziemlich gut mittels Pollenspektren, mariner und nichtmariner Mikrofauna kontrolliert. Die Mächtigkeit der Sequenz beträgt im Mosqueiro-Graben gegen 1500 m, über dem Sergipe-Hoch gegen 500 m, im Japarutuba-Graben 1000 m, im Sao-Francisco-Graben 1500 m, im Coruripe-Graben 1750 m und im Alagoas-Graben gegen 2000 m. Während die frühen Schichtfolgen in die nichtmarinen Salzseen der Teilgräben abgelagert wurden, kam, ungefähr gegen Ende der früheren Sequenz 6, als Folge der kontinuierlichen Absenkung des gesamten Beckens und der Separation der Grabenränder, der Einbruch marinen Milieus zustande. Dadurch hört die Evaporitbildung an der Basis der späten Sequenz 6 auf, wobei rein marine Fazies in Sergipe und immer noch brackische in Alagoas zur Ablagerung kommt.

Die späte Sequenz 6 ist in Sergipe durch einen schmalen, stabilen Schelf charakterisiert (Maruim Fazies), während in Alagoas weiterhin instabile Verhältnisse unter Vertiefung des Grabens vorherrschen, und dort syntektonische Konglomerate vom Typ c 2 von Norden und Westen her die Grabenrandgebiete auffüllen.

Wie aus Fig. 5 ersichtlich, begünstigen die Faziesverhältnisse in der Maceio- und Paripueira-Bruchzone die Interpretation von erneuter Aktivität entlang N-S Bruchzonen. Auch die im Coruripe-Graben offenkundige Bruchbegrenzung der Sequenz 6 entlang der Sinimbu-Bruchzone, sowie auch die durch Brüche verursachte Begrenzung der Maruim Schelffazies am Ostrand der Pacatuba-Schwelle, gibt Auskunft über das erneute Aktivwerden von N-S verlaufenden Bruchsystemen.

Korrelation: Aus der Subcrop-Karte, Fig. 3, ist ersichtlich, dass die Sequenz 6 vermutlich zahlreiche kleinere Aufschlüsse in Alagoas hat, die immer noch Gegenstand detaillierter Kartierungen sind. In Sergipe gehören die Riachuelo- und Maruim-Formationen gänzlich in die Ausbisszone der Sequenz 6.

Sequenz 7 (Turon bis Untersanton)

Basis: Die für Sequenz 6 angegebene Obergrenze.

Obergrenze: Eine im allgemeinen im E-log gut korrelierbare Parakonkordanz zwischen liegendem Turon bis Untersanton und hangendem Campan bis Paleozän (Pollen und Mikrofauna).

Mächtigkeit, Paläogeographie, Fazies (Fig. 9): Über dem turon-santonen, stabilen Schelf breitet sich, mit Mächtigkeiten bis zu 400 m, die von BENDER definierte Sapucari-Laranjeiras-Formation aus. Sie geht lateral, in der Gegend von Japarutuba, in die Sandsteine der Randfazies h über. Über dem gegen den Atlantik mittels normalen Brüchen abgesenkten, instabilen Schelf, tritt rapide Vermergelung des Sapucari-Kalkes (BEURLÉN 1961 b) ein, dessen Abgrenzung zum hangenden Calumbi-Shale ohne Mikrofossilien etwas Schwierigkeit bereitet.

Im Alagoas-Graben ist ein zum Teil oolithischer Kalk als der Sequenz 7 zugehörig interpretiert worden, jedoch fehlen hierzu die paläontologischen Beweise.

Fazies b: Sandsteine und Konglomerate, hellgrün, rötlich, dunkelrot, weich, porös, zum Teil kalkiger oder dolomitischer Zement. Rote, Glimmer führende Siltsteine, grüne, graue, rote Tone. Kontinental bis litoral. Bis zu 200 m mächtig, wurde diese Fazies bisher nur über dem Japarutuba-Graben durchteuft. Wo anstehend wurde sie vermutlich als Barreiras-Formation kartiert.

Sapucari-Laranjeiras-Formation (sl in Fig. 5): Siehe BENDER 1959, BEURLIN 1961 b, c. In Bohrungen im Mosqueiro-Graben wurden jüngste Schichtglieder dieser Formation mit Coniac bis Untersanton angegeben (PETROBRAS).

Sequenz 8 (Obercampan bis Paleozän)

Basis: Die für Sequenz 7 angegebene Obergrenze.

Obergrenze: Im E-log nicht immer einwandfrei korrelierbare Diskordanz. Paleozäne bis campane Mikrofauna im Liegenden, und mehrheitlich fossillose Kontinentalfazies im Hangenden.

Mächtigkeit, Paläogeographie, Fazies (Fig. 10): Die Sequenz erreicht im Mosqueiro-Graben bis zu 2100 m, im Sao Francisco-Graben bis 1750 m. Die heute bekannte Verbreitung ist wiedergegeben in Fig. 3. Die Isopachenkarte zeigt ein prodeltaisches Tief längs des Kontinentalrandes. Die mächtigen Calumbi-Shales gehen landwärts zum Teil in feinsandige, transgressive Randfazies i über. Als Folge frühtertiärer Hebung wird der gesamte, transgressive Sedimentkomplex alsdann von regressiver, gröberer Sandfazies i und, im Mosqueiro-Graben und bei Piaçabuçu, auch von regressiven Kalken überlagert (Fig. 5).

Fazies i: Feine bis grobe Sandsteine und graugrüne Tone. Feinkonglomeratische Linsen. Als transgressive Fazies ist sie auf die Basis der Sequenz 8 beschränkt, als regressive Fazies bildet sie den Hauptanteil der späten Sequenz 8 und überdeckt die transgressiven Calumbi-Shales. Die Fazies enthält zahlreiche Shows von schwerem, asphaltreichem Öl, aber auch leichtere Öle (Piaçabuçu 15,8–47,3° API). Sie gilt innerhalb des regressiven Brettes als potenzielle Reservoirfazies und ist, wo anstehend, vermutlich als Barreiras-Formation kartiert worden.

Calumbi Shale (csh in Fig. 5): Siehe hierzu BENDER 1959 und PETRI 1962. Zu den Altersbestimmungen dieser beiden Autoren (bisher nur Maastricht) ist Dan aus dem Gebiet von Piaçabuçu hinzuzufügen. Die Verbreitung ist auf den Küstenstreifen von Sergipe beschränkt. Diese Fazies enthält vermutlich grössere Ölmuttergesteinskomplexe.

Fazies k: Epineritischer, regressiver, dolomitischer, dichter, beige bis bräunlicher Kalk, mit Schalentrümmern, zuweilen oolithisch oder zuckerkörnig. Als zusammenhängendes Brett wurde diese Fazies, bis zu 300 m Mächtigkeit, nur im Küstenstrich des Mosqueiro-Grabens durchbohrt. Bei Piaçabuçu bestehen bloss einige Linsen dieses Kalkes innerhalb des regressiven Sandsteins i.

Vermutliche Aufschlüsse dieses Kalkes sind 5 km südlich von Sao Cristovao von BENDER als Sapucari-Laranjeiras-Kalke kartiert worden. Allerdings ähnelt Fazies k durchaus den Sapucari-Kalken und es ist zu sagen, dass zufolge mangelnden paläontologischen Beweises die zeitstratigraphische Stellung der erwähnten Aufschlüsse noch nicht gelöst ist. Keine Shows.

Sequenz 9 (nicht differenziertes Tertiär bis Quartär)

Nicht näher bearbeitet. Es handelt sich um nahezu sterile Kontinentalablagerungen, Strandsande und Alluvionen der kombinierten Barreiras/Vasantes-Formationen, die, besonders im Rio-Sao-Francisco-Delta bis zu 500 m, und über dem Taboleiro von einigen Metern bis zu 200 m mächtig werden.

3. Ergänzungen zum Normalprofil der Terrainaufschlüsse

Anlässlich einer ausgedehnten Exkursion im März 1963 wurden vom Autor, zusammen mit den Herren PERELLA und CHAVES von der PETROBRAS, vier Profile in der Japoata-Gruppe aufgenommen. Mit diesen konnten die unter BENDERS genereller Bezeichnung «Japoata Sandsteine» zusammengehörigen Sedimente besser unterteilt werden.

Die Japoata-Gruppe: Der Kontakt mit der Batinga-Formation ist nirgends aufgeschlossen. Das 45 m mächtige Basisprofil am Aracare-Hügel bei Neopolis gibt nur über $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{6}$ der aus Bohrungen bekannten Mächtigkeit des permischen Anteils der Japoata-Sandsteine Auskunft. Doch enthält dieses schöne, gut aufgeschlossene Profil, die für die Eruierung der Formation in Bohrungen und schlecht aufgeschlossenem Terrain wichtigen Chertlagen. Sie wurde wegen diesem charakteristischen Anteil hier *Chert-Formation* benannt. Für detaillierte Lithologie siehe Fig. 13.

Die nächsthöhere Einheit der Japoata-Gruppe ist nur bei Igreja Nova aufgeschlossen und auch da nur in vereinzelt, kleinen Erosionsanrissen. Sie besteht aus roten bis purpurnen, harten Tonen und wurde darum *Rote-Ton-Formation* benannt. In den Bohrungen bildet diese Formation eine charakteristische, oberjurassische Leitschicht von durchschnittlich 50–70 m Mächtigkeit. Diese korreliert zeit- und lithostratigraphisch mit der Aliança-Formation aus dem Reconcavo-Tucano-Graben von Bahia.

Es folgt als oberste der tieferen Einheiten der Japoata-Gruppe ein der tiefsten Unterkreide angehörender, kreuzgeschichteter, epikontinentaler Sandstein mit zahlreichen, verkieselten Hölzern. Dieser, hier *Delta-Formation* bezeichnete, mit der erdölführenden Sergi-Formation vom Reconcavo-Tucano-Graben korrelierende Sandstein, ist gut aufgeschlossen an der Strasse Propria-Japoata, Fig. 12, und etwas weniger gut im klassischen Japoata-Sandstein-Profil von Muribeca, Fig. 11. Von den in der Subsurface bisher durchbohrten 125 m sind 80 m Mächtigkeit auch im Terrain nachgewiesen.

Auffallend an diesen drei Formationen ist, dass sie sehr regelmässig über das ganze Beckengebiet verbreitet sind, was aus zahlreichen Bohrungen erwiesen ist, und dass sie lithofaziell praktisch keine Änderungen aufweisen.

Der nun folgende Schichtkomplex der höhern Japoata-Gruppe zeugt von rapiden lateralen und vertikalen Wechseln in der Sandsteinfazies. Es ist aber offensichtlich, dass trotz dieser rapiden Wechsel eine basale, vorwiegend sehr feinkörnige Einheit, aus siltigen Shales und Siltsteinen bestehend, von gröberem Sandsteinen und Shales überlagert wird. Aber erst das aus den Bohrungen erhaltene Bild zeigt die wahren Wechselbeziehungen dieser als *Shale-Siltstein-* und *Sandstein-Shale-Formation* bezeichneten Einheiten (Fig. 5, ferner im Text unter Sequenz 4, Fazies a und b).

Mit den Erscheinungen rascher lithofazieller Wechsel steht diese höhere, mittels Ostrakoden als Prä-Apt-Unterkreide datierte Schichtenfolge der Japoata-Gruppe in starkem Gegensatz zur tiefern Abfolge und deutet auf tektonische Tätigkeit, die mit der Grabenbildung in Zusammenhang steht, hin.

Nach BENDER folgen nun über dem soeben beschriebenen Sandsteinkomplex diskordant die «syntektonischen Konglomerate». Im Terrain ist es aber schwierig, eine Diskordanz zu beobachten. Die Konglomerate schalten sich vorerst sporadisch und dann sehr massiv in die höhern und über die höchsten Schichtglieder der Sandstein-Shale-Formation ein und bilden von der ersten massiven Bank bis zum obersten, 80 m mächtigen Abschlusspaket eine Einheit von ca. 250 m Mächtigkeit. Definitionsgemäss gilt bei dem in Fig. 11 dargestellten Muribeca-Profil als Basis dieser *Konglomerat-Formation* die tiefste grobkonglomeratische Einstreuung.

Nach BENDER soll nun zwischen dieser Konglomerat-Formation und der im Typusprofil nächst höheren *Muribeca-Formation* lateral eine Verzahnung sichtbar sein. Diese

Möglichkeit besteht durchaus. Sedimentologisch und zyklisch betrachtet scheint es aber ebenfalls möglich, dass nach der tektonischen Bewegungsphase, die für die Konglomeratschüttung verantwortlich war, eine Ruhepause einsetzte, während welcher die Kalke der Muribeca-Formation als transgressives Sediment zur Ablagerung kamen. Die Lithofazies und die Altersbestimmungen in den Bohrungen unterstützen diese Interpretation. Das ist besonders deutlich in Sergipe, wo über den im Mosqueiro-Graben bis zu 600 m mächtigen Konglomeraten ein Hiatus nachgewiesen ist, dem zeitstratigraphisch im Alagoas-Graben ein Sedimentpaket von 2500 m Mächtigkeit (Sequenz 5) entspricht. Und wiederum im Alagoas-Graben, im Gebiet zwischen Sinimbu-Bruchzone und Poxim-Schwelle, sind dieselben Konglomerate bis zu 500 m mächtig und überlagert von mächtigen, der Sequenz 5 angehörigen, mit der Muribeca-Formation faziell korrelierenden Kalken und kalkigen Sandsteinen der Fazies d. Ohne Zweifel besteht aber auch innerhalb Sequenz 5 (? Unterapt) die Fazies der Japoata-Sandsteine fort und sind dort laterale Wechsel von Kalken in Sandsteine und konglomeratische Lagen nachgewiesen.

Wahrscheinlich ist die Muribeca-Formation altersmässig mit tieferen Fazies-d-Schichten der Sequenz 5 zu korrelieren. Sie wäre damit vorläufig ins frühe Unterapt zu stellen.

Es ist aus diesen verschiedenen Beobachtungen heraus verantwortbar, die Muribeca-Formation und die Konglomerat-Formation zusammen mit den Japoata-Sandsteinen BENDERS unter einer *Japoata-Gruppe* zu subsummieren. Damit würde letztere die Chert-, Rote Ton-, Delta-, Shale-Siltstein-, Sandstein-Shale-, Konglomerat- und Muribeca-Formation umfassen. Durch diese Unterstellung würde die Japoata-Gruppe, mit Ausnahme der permischen Chert-Formation, Sedimente umfassen, die faziell die Grabenöffnung und Graben-Hauptentwicklung widerspiegeln.

4. Strukturelle Entwicklungen und Paläogeographie

Ob aus rein wissenschaftlichem Interesse oder aus den auf ökonomische Nutzung von Bodenschätzen ausgerichteten Untersuchungen, es ist in beiden Fällen fast unausweichlich, dass geologische Untersuchungen in den mesozoisch-tertiären Becken, aber auch den präkambrischen Systemen der Küstengebiete des Südatlantiks, das Problem der kontinentalen Separation Südamerikas und Afrikas zu streifen haben. Für den Tektoniker wie für den Stratigraphen ist die Diskussion um die ursprüngliche kontinentale Einheit dieser beiden Gondwana-Subkontinente in die Phase des detaillierten Zusammensetzspiels getreten.

In Anbetracht der Erdölfelder in Angola, Gabon, Bahia und neuerdings auch in Sergipe-Alagoas und Barreirinhas besteht für ein solches Zusammensetzspiel die reale Basis der Interpretation von Erdölmöglichkeiten in weiteren Küstenbecken mit geologisch analogem Geschehen. Allein für Brasilien kommen ausser Reconcavo-Tucano, Sergipe-Alagoas und Barreirinhas noch fünf weitere solche Becken in Betracht, nämlich: Pelotas, Espirito Santo, Rio Grande do Norte, Sao Luiz und Marajo.

Lokale Mechanismen:

a) Wenn wir die Grossstrukturen von Fig. 4, wie sie sich aus der Interpretation von Feldaufnahmen, Seismik, Gravimetrie und Bohrungen ergeben, betrachten, so fallen neben den Teilgräben und Horsten der germanotypen Grundstruktur Anzeichen lateraler Versetzung auf, die eine gesetzmässige Anordnung verraten (vergleiche hiezu die Arbeiten von W. H. COREY 1962 und N. PAVONI 1964). So findet entlang der Sinimbu-Bruchzone und der Pacatuba-Schwelle eine linkshändige Versetzung um mehrere Kilo-

meter statt. Dasselbe Phänomen ist längs eines N-S verlaufenden Bruches bei Japoata aus Feldaufnahmen ersichtlich (PETROBRAS). Diese linkshändigen Versetzungen sind an generell N-S oder SSW-NNE laufende Bruchzonen gebunden. Aus der Struktur des Carmopolisfeldes sind aber auch geringfügige rechteilhändige laterale Versetzungen bekannt, so z.B. längs des von Pirambu nach NW ziehenden Bruches. Es scheint also, dass das ursprüngliche Netz von Tensionsbrüchen, das in der Prä-Apt-Unterkreide (Sequenz 4) vor allem noch N-S verlief und im Verlaufe des frühen Apts (Sequenz 5) durch die Hauptbrüche südwest-nordöstlicher Richtung ergänzt und zerrissen wurde, im Verlaufe von Obercampan bis Rezent wenn auch nur schwachen, stauenden Stresswirkungen ausgesetzt war. Diese kompressiven Stresse waren zu wenig ausgeprägt um Faltung zu verursachen. Doch ist möglicherweise eine schwache Wölbung der Teilgräben und Horste erreicht worden, wie es fotogeologische Kartierungen in Sergipe andeuten (PETROBRAS).

b) Die Faziesverteilung von Riachuelo- und Maruim-Formation im Alb, die lithofazielle Differenzierung der Sapucari-Laranjeiras-Formation im Turon bis Untersanton und die paläogeographische Situation der Calumbri-Shales im Obercampan bis Paleozän lassen folgendes erkennen: Aus den zahlreichen synthetischen und antithetischen, normalen Brüchen, die sich von spätem Jura bis ins Unterapt bildeten (Sequenzen 3-5) und den Sergipe-Alagoas-Graben in Horste und Teilgräben aufteilten, fand während des Mittel- bis Oberapts (frühe Sequenz 6) eine Auswahl synthetischer Prä-Apt-Brüche und ebenfalls synthetischer Unterapt-Brüche statt. Diese übernahmen etwa vom Oberapt bis Alb an (späte Sequenz 6) die Rolle eines Flexurgürtels innerhalb des sich im Oberapt erstmals bildenden Schelfes, d.h. sie waren verantwortlich für eine rapide Zunahme der Instabilität innerhalb des sich bildenden Schelfes. Mit zunehmender Absenkung des instabilen, äusseren Schelfes im Santon übernahm dieser Flexurgürtel schliesslich die Rolle des spätoberkretazischen Kontinentalrandes. Mit andern Worten, durch die Einsedimentierung eines Grabens, in welchem die Randbrüche (Randcliffes) vorläufig die Rolle des Hauptrandes innehaben, wird, als Folge der kontinuierlichen *Separation* der Grabenränder aus Gründen, die hier nicht zur Diskussion stehen, ein Sedimentvorbau ermöglicht, der allmählich dem Grabenrand entlang genügend Stabilität erreicht um die laterale Migration des Hauptrandes gegen das sich bildende Becken zu ermöglichen.

Paläogeographisch-tektonische Entwicklungen im Sergipe-Alagoas-Becken und in Vergleichsbecken:

a) Die Geschichte des modernen Sergipe-Alagoas-Beckens begann mit der Einschwemmung und Verwitterung der roten Tone im obersten Jura. Diese basale Deponie kündigt von der Bildung eines weiten, intrakratonischen Flachgebiets, das sich unter vorerst noch stabilen Verhältnissen zu senken begann, Mit der Einschwemmung der Deltasande wurde das Flat zur Depression und damit setzte für das Gebiet von Sergipe-Alagoas die Grabenbildung im frühesten Neokom (BEURLIN 1961 a) ein. In den im Neokom noch schmalen *germanotypen Graben* lagerten sich fast ausschliesslich klastische, zum Teil molasseähnliche Sedimente ab. Mit fortschreitender Separation der Grabenränder und Einbruch brackischen und dann marinen Milieus, bildete sich ein von Spannungsbrüchen durchzogenes, von Horsten und Teilgräben aufgetrenntes *para-miogeosynklinales Becken*, in dem sandig-mergelige Sedimente vorherrschten (Mittelapt-Mittelalb). In diesem Becken entwickelte sich der erste rudimentäre Gürtel mit gemischter Schelffazies (Oberalb). In der Folge entstand nun ein typischer *Miogeosynklinaltrog*, in welchem bedeutende primäre und sekundäre Spannungsbrüche die Funktion von Flexuren übernahmen und den stabilen vom instabilen Schelf trennten (Turon-Untersanton). *Eugeosynklinale Randfazies* in Form mächtiger prodeltaischer bis bathyaler Shales (Campan-Maastricht) überlagerte

alsdann den einsinkenden instabilen Schelf und wurde ihrerseits, bei Eintritt der paleozänen Hebung, überlagert von regressivem Epikontinentalsand und regressiver Kalkfazies (Unteres Paleozän). Weitere frühtertiäre Hebung bewirkte einen grösseren Hiatus, nach dem, mit dem Einsetzen spätertertiärer bis quartärer Senkung, kontinentale Sande folgten.

b) Diese Entwicklung ist analog derjenigen im Gabon-Becken. Hier zeichnete sich vom Neokom an eine von BELMONTE 1962 zwar nicht ausgesprochene, aus seinen faziel- len und strukturellen Angaben jedoch lesbare, analoge Strukturwandlung ab, d.h. der Übergang von einem intrakratonischen Graben in ein perikratonisches Becken.

Dass diese Wandlung im Reconcavo-Tucano-Graben von Bahia nicht feststellbar ist liegt daran, dass der im Neokom in N-S Richtung sich bildende Madiela-Port Gentil-Reconcavo-Tucano-Graben durch die im frühen Apt (Sequenz 5, und anschliessend Prä-Sequenz 6 Hiatus) bei Salvador einsetzenden und von da nach NE verlaufenden neuen Hauptstrukturen, entzweigerissen wurde. Dadurch wurde der Reconcavo-Tucano-Sackgraben vom neuen Haupttrand derart isoliert, dass er in seiner intrakratonischen Isolation die Entwicklung zum perikratonischen, miogeosynklinalen Becken nicht mitmachen konnte. Er ist uns daher heute als fossiler neokomer Graben erhalten geblieben. Es ist durchaus möglich, dass Bohrungen auf der in den kontinentalen Schelf ausmündenden, südlichen Fortsetzung des Reconcavo-Tucano-Grabens, zwischen der Lagoa dos Santos und vor der Küste bei Itacaré, Oberkreide und Tertiär in Miogeosynklinalfazies, wie sie im Gabon und Sergipe vorhanden ist, antreffen werden.

c) Die Analogie der *intrakratonischen Grabenentwicklung* im Madiela-Port Gentil-Reconcavo-Tucano- und Sergipe-Alagoas-Graben während des Neokoms, die Schritt für Schritt verfolgt werden kann und die daran anschliessende, erneute Analogie in der *perikratonischen Beckenbildung* im Gabon- und Sergipe-Alagoas-Becken in der Oberkreide ist einzigartig. Davon ist als Wesentlichstes festzuhalten, dass die *Bildung des heutigen Kontinentalrandes* zu beiden Seiten des Südatlantiks für das in unsere Vergleiche einbezogene Gebiet gemeinsam im Apt-Alb einsetzte. Ursache dieses Geschehens ist die Separation intrakratonischer Grabenränder durch zum Teil noch ungeklärte Mechanismen.

Vergleiche mit obigen Paragraphen auch die theoretische Arbeit von KÜNDIG 1957 über Geosynklinalen.

Küstengeometrie und regionale Strukturen (Fig. 15): BEURLEN 1961 a setzt dem Kreidestreifen von Sergipe-Alagoas als paläogeographische Ergänzung an der afrikanischen Küste den Kreidestreifen von Gabon (p. 18), und, im Einklang mit dieser Interpretation, das Küstenstück Pernambuco-Paraiba do Norte dem Küstenstück Westnigeria-Goldküste gegenüber (p. 22). Abgesehen von der im Prinzip richtigen Interpretation der paläogeographischen Einheit der Küsten des Südatlantiks entsprechen aber obige Gegenüberstellungen einer Verschiebung von strukturell und geometrisch zusammengehörenden Küstenstreifen diesseits und jenseits des Atlantiks um gut 400 km. Es darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass bei Zusammenfügen der Kontinente das Knie des brasilianischen Schildes bei Natal, über das Niger-Delta bis in die Gegend der Einmündung des Benue in den Niger, an Afrika herangeschoben werden muss, um ein geometrisch kompletäres Bild der unterkretazischen Küsten zu erhalten. So aneinandergesetzt ergibt sich eine sehr schöne Übereinstimmung der verschiedenen präkambrischen wie auch mesozoischen Strukturen.

Das jungpräkambrische Mayombe-System mit seinen Alkali-Graniten und epimorphischen Paraschiefern (RÜEFLI 1953, unveröffentlicht, COSSON 1955) setzt sich über Mayumba nach Sette Kama und von da in den Atlantik fort, wo es alsdann abreisst. Es hat seine südamerikanische Fortsetzung im alkaligranitreichen Kristallinzug von Ilheus-Itacaré nach Santa Luz am Westrand des Reconcavo-Grabens. Die Abzweigung des

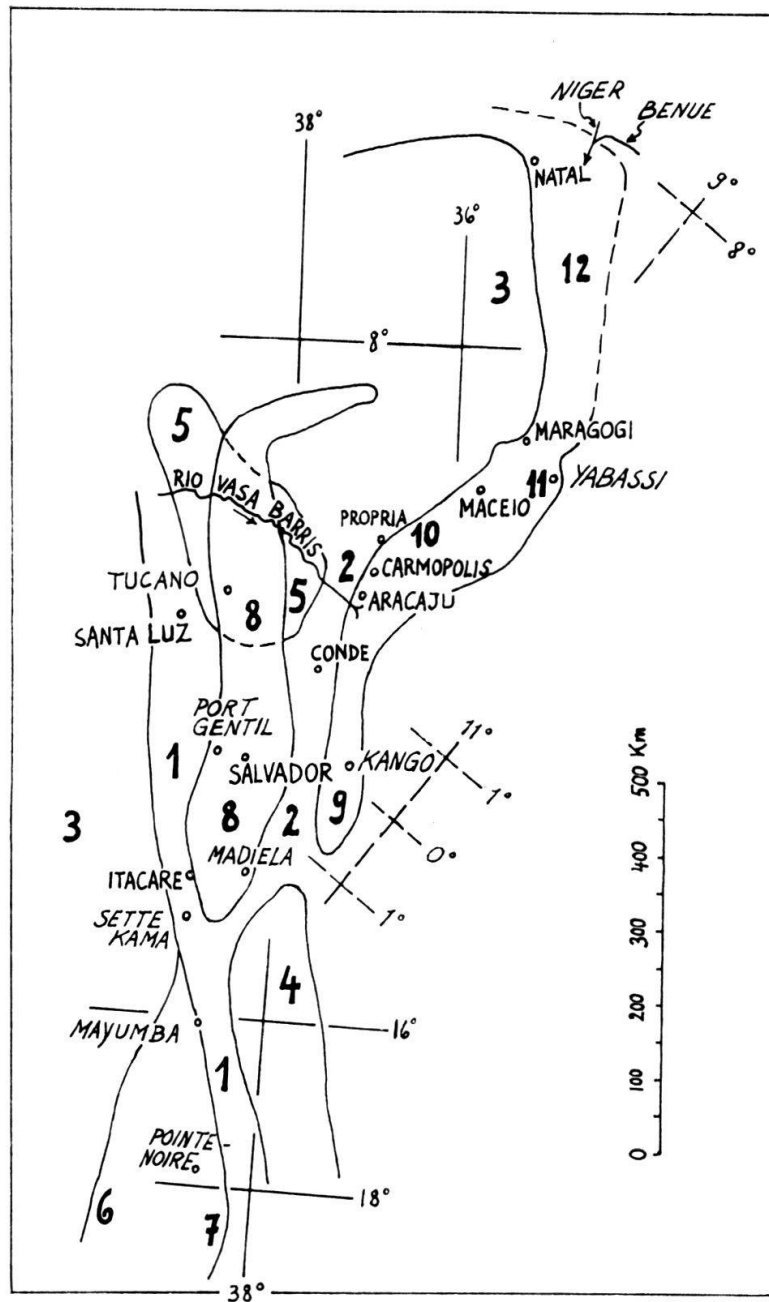


Fig. 15: Strukturen des Gondwana Kontinents in der Prä-Apt Unterkreide, zur Zeit des Beginns der kontinentalen Separation. Verwendete Karten: NICKLES & HOURCQ 1952 für Afrika und geol. Karte Brasiliens 1960, herausgegeben vom Ministerium für Geologie und Mineralogie, für Südamerika. – Afrikanisches Gradnetz gestrichelt, Ortsnamen in Kursivschrift. Südamerikanisches Gradnetz mit ausgezogenen Linien, Ortsnamen in Blockschrift.

Regionale Strukturen sind: *Präkambrisch*, 1 Mayombe-System und Alkaligranitzug Ilheus – Santa Luz. 2 Kristallinhorst von Lambarene – Chinchua und Kristallinzug Conde – Propria. 3 Brasilianischer Schild, hier nicht differenziert. 4 Synklinale von Moabi – Niari. 5 Synklinale des Rio Vasa Barris. *Mesozoisch*, 6 Espirito Santo-Becken. 7 Becken von Luanda – Pointe Noire – Loango. 8 Madiela – Port Gentil – Reconcavo-Tucano-Becken und Graben. 9 Graben von Kango. 10 Sergipe-Alagoas-Becken. 11 Becken von Douala. 12 Beckenzone Maragogi – Natal und Yabassi – Benue Mündungsgebiet.

kristallinen Horstes von Lambarene-Chinchua (BELMONTE 1962) hat ihre Fortsetzung im kristallinen Küstenstreifen von Conde nach Propria, und trennt damit den ursprünglich zusammenhängenden Graben von Madiela-Port Gentil-Reconcavo-Tucano im Westen, vom Graben von Kango (NICKLES 1952, siehe Karte 1/2 000 000), Sergipe-Alagoas und Douala im Osten. Die Fortsetzung des letzteren nach Norden hat als westliche Grenze den brasilianischen Schild am Atlantik zwischen Maragogi und Natal, und als östliche Grenze die Verbindung von Yabassi nach dem Benue-Mündungsgebiet. Ein strukturelles Gegenstück zur Synklinale von Moabi-Niari östlich des Mayombe-Systems findet sich im Synklinaltrog des Rio Vasa Barris westlich und östlich des Tucano-Grabens. Äusserst ähnliche Sedimente zum System der Bamba-Berge (COSSON 1955), im erstern sind in der Miaba- und Vasa-Barris-Gruppe (PETROBRAS) des letztern vorhanden. Im Süden stehen innerhalb eines 800 km langen Beckens das Espirito-Santo-Becken zwischen Rio Paraíba-Mündung und Ilheus einerseits, und das Becken von Luanda-Pointe Noire-Loango anderseits als paläogeographische Einheit einander gegenüber.

Auf Grund dieser regionalgeologisch faszinierend detaillierten Übereinstimmung der in Frage stehenden mesozoisch-tertiären Küstenabschnitte und präkambrischen Strukturen und Systeme, darf sicher nicht von «more dissimilarities between adjacent continents» gesprochen werden (NORTHROP & MEYERHOFF 1963, Table 1, p. 579). Dieser Abschnitt mag darum als weiterer Beitrag zur Gondwana-Diskussion zwischen LINK und FAIRBRIDGE (LINK 1957) dienen.

5. Erdölmöglichkeiten

Zahlreiche Shales in Fazies a, die Shales 1, 2 und 3 (alle nichtmarin), die Shales in Fazies g, c 2 (nichtmarin, brackisch und marin) und die Calumbi-Shales (marin) sind schwarz bis dunkelgrau bis graugrün, zum Teil bituminös und kommen als Erdölmuttergesteine in Frage.

Es wurden bisher, mit Ausnahme von Pollenuntersuchungen, keine statistischen Auswertungen dieser Gesteine vorgenommen (siehe hiezu BITTERLI 1962). Sie sind zum Teil reicher an Pollen als gleichaltrige Sandsteine und karbonatische Einschaltungen. Das trifft besonders zu auf die Shales der Fazies a, den Shale 3, die Shales der Fazies g und c 2.

Die heute 800–5000 m mächtige Überlagerung der Fazies a und die durchschnittlich 300–2000 m mächtige Überlagerung für die übrigen als Ölmuttergesteine in Frage kommenden Shales hat zweifellos auch günstige Bedingungen für die Bildung von Erdöl, Kompaktion und Migration geschaffen (siehe hiezu WELTE 1964).

Bedeutung der verschiedenen Mutterformationen

Nachdem in Carmopolis ein Feld mit einer totalen Reserve von 1–1,5 Milliarden Fass vorliegt (14–21° API), das eine Primärausbeute von 8–10% erlauben soll, dreht sich die Frage heute um die Herkunft dieses Erdöls, um die Aussichten der weiteren Exploration etwas abschätzen zu können.

Die Lage des Feldes schliesst die Möglichkeit, dass die Shales 1, 2 und 3 oder die Calumbi-Shales als Mutterformationen in Frage kommen, praktisch aus. Es kommen folglich vor allem die nichtmarinen Shales der Fazies a und die in Sergipe nur zu einem geringen Teil nichtmarinen und brackischen, grösstenteils marinen Shales in Fazies g als Mutterformation in Frage.

Da keine detaillierten Untersuchungen an möglichen Muttergesteinen angestellt worden sind, ist man versucht, auf Grund der dunkelgrauen bis schwarzen Farbe der Shales in Fazies a und der mehr graugrünen in Fazies g, die ersteren als die bedeutenderen in

Bezug auf Muttergesteinseigenschaften zu betrachten. Auch auf Grund zerstreut auftretenden Bitumengehaltes in den beiden Shales, der im ersteren wahrscheinlich primär, im letzteren aber auch sekundär sein kann, sind die Shales in Fazies a als bedeutendere Erdölmutterformation zu bewerten. Die Chancen dagegen, dass in den in Frage kommenden Einheiten a und g entstandenes Öl nach Carmopolis migrieren konnte, sind dieselben (Fig. 5).

Während für die sehr gute Show in der Chert-Formation über der Pacatuba-Schwelle (34,5° API) praktisch nur in Fazies a gebildetes Öl in Frage kommt, so kommt für die gute Show in Jequia praktisch nur aus Shale 1 und 2 migriertes Öl in Frage (35,1° API). Für Taboleiro do Martins kann sowohl aus dem Shale 3 oder aus der Fazies g migriertes Öl in Frage kommen (16,2–34,6° API). Für Öl in der transgressiven und regressiven Fazies i kommt praktisch fast nur Öl aus den Calumbi-Shales in Frage (35,5–47,3° API in transgressiver und 15,8–22,3° API in regressiver Fazies).

Aus der Bedeutung der verschiedenen Vorkommen und aus den Mächtigkeiten der die Erdölmuttergesteine beherbergenden Lithofazies darf die *Fazies a* als qualitativ und quantitativ bedeutende Mutterformation bezeichnet werden, während Fazies g und die Calumbi-Shales qualitativ weniger bedeutend erscheinen und quantitativ gegenüber Fazies a ebenfalls zurücktreten. Die drei Shalebänder 1, 2 und 3 sind qualitativ den Shales in Fazies a durchaus gleichzusetzen. Sie stellen aber gesamthaft ein bedeutend kleineres Volumen an Muttergesteinen als jene und scheinen vorläufig auf den Alagoas-Graben beschränkt zu sein.

Reservoirgesteine

Als Hauptspeicher sind bisher die regressive Fazies b, c 2, i und die transgressive e und i in Erscheinung getreten. Das kleine Feld von Taboleiro do Martins ist ganz in Fazies e gelegen, das Feld von Carmopolis befindet sich in b, c 2 (c 1?) und e Fazies. Die Porositäten und Permeabilitäten aller dieser Reservoirtypen sind zufolge karbonatischer und siltig-toniger Zementierung grossen Schwankungen ausgesetzt.

Einzig die als Speicher bestens geeignete Delta-Formation (Hauptspeicher in Bahia) ist bisher ohne Öl-Show geblieben, und die Chert-Formation, die ebenfalls sehr unregelmässige Porositäten aufweist, hatte eine sehr gute Show über der Pacatuba-Schwelle. In der Maruim-Formation sind Ölseeps in der Gegend von Maruim bekannt.

Fallentypen

Bei Carmopolis ist das Öl an die Diskordanz zwischen Unterapt und Mittel- bis Oberapt gebunden, die dort Sequenz 4 von Sequenz 6 trennt (Fig. 5). Strukturell liegt die Falle an dem SW–NE verlaufenden antithetischen Hauptbruch, der den Japaratuba-Graben vom Sergipe-Hoch trennt, und der wohl auch als Hauptträger waltet. Wahrscheinlich sind besondere hydro-dynamische Verhältnisse dafür verantwortlich, dass die vom obigen normalen Bruch zerschnittene Diskordanz migrierendes Öl über und unter sich zu akkumulieren vermochte. Dass Fazies f stellenweise als Abdichtungshorizont auftritt ist wohl möglich, aber bisher nicht erwiesen. In einer Veröffentlichung neuesten Datums (RASSMUSS 1966) wird die Falle als Antiklinalfalle bezeichnet, jedoch wird dabei keine «Closure» angegeben.

Ölseeps in der Maruim-Formation in der Nähe von Maruim sind wahrscheinlich an diesem Hauptbruch oder in dessen Einzugsbereich in Bezug auf Migrationen gelegen.

In Taboleiro do Martins, Coqueiro-Seco (Gas und Öl), in Jequia und Piaçabuçu ist das Öl in bruchbegrenzten Sandkörpern, zum Teil aber auch rein stratigraphisch in allseitig auskeilenden Sandlinsen eingeschlossen.

Das Öl in den regressiven Sandsteinen i über dem transgressiven Calumbi-Shale ist zur Hauptsache an Diskontinuitäten in der Sandfazies, aber auch an schwache intraformationelle Diskordanzen gebunden (Strandsande, Barrieren, versandete Erosionsrinnen).

Die bisherigen Vorkommen deuten also auf eine Kombination rein stratigraphischer, stratigraphisch-struktureller, und damit kombinierter, hydrodynamischer Fallen, in denen

a) *stratigraphisch*:

- Lithofazielle Differenzierung und epigene Veränderung des Zementes im Reservoirgestein, die Porositäten und Permeabilitäten stark beeinflussen und der laterale Fazieswechsel für Diskontinuität und Linsencharakter der Speicherfazies verantwortlich ist (mit Ausnahme der Delta-Formation).
- Haupt- und intraformationelle Diskordanzen, besonders Winkeldiskordanzen eine bedeutende Rolle bei der Akkumulation spielen.
- Eigentliche «sealing units» bisher nicht in Erscheinung treten, aber mit deren Mitspielen ebenfalls gerechnet werden muss (bei Carmopolis ist das mögliche Mitspielen der Fazies f als «sealing unit» ungeklärt).

b) *strukturell*:

- Antithetische, normale Hauptbrüche die sekundäre Migration in jüngere Schichtglieder als die Ölmuttermigration besonders zu begünstigen scheinen (Carmopolis).
- Synthetische, normale Hauptbrüche, die je nach der Vollständigkeit der stratigraphischen Kolonne auf dem gehobenen Block, die sekundäre Migration auch in ältere Schichtglieder als die Muttermigration ermöglichen (Pacatuba), ebenfalls bedeutungsvoll sind.
- Salztektunik trotz mächtiger Salzlagen in Sergipe und Alagoas bisher nicht in Erscheinung getreten ist.
- Grossradige, flache Wölbung als Folge geringer, kompressiver Stresse wohl möglich, aber nicht eindeutig erwiesen ist, und zum Teil wohl auch durch geneigte, dachfirstartig aneinander stossende Blöcke vorgetäuscht wird.

c) *hydrodynamisch*:

- vermutlich spezielle hydrodynamische Verhältnisse die Akkumulation im Bereiche von Diskordanzen begünstigten (Carmopolis), und
- periodisch oder kontinuierlich wirksame, positive Gradienten längs Hauptbruchzonen die natürliche Depletion verunmöglichten oder doch zu bremsen vermochten (Carmopolis).

Aus allen diesen Typen, die mehrere Kombinationen erlauben, ist vorläufig für die Akkumulation ökonomisch interessanter Mengen der bedeutendste der antithetische Hauptbruch mit angrenzender Diskordanz, im Zusammenspiel mit besonderen hydrodynamischen Verhältnissen, und dem noch nicht abgeklärten Einfluss unregelmässig linsenartig verbreiteter «sealing units».

Günstige Explorationsgebiete:

Aus Fig. 5 ist ersichtlich, dass die regional-geologischen Verhältnisse in Bezug auf Erdölakkumulation günstiger sind im Mosqueiro-, Japarutuba- und Sao-Francisco-Graben als im Coruripe- und Alagoas-Graben. Die Anzahl der explorierbaren Sequenzen ist in den ersteren sieben bis acht und in den letzteren sechs. Da zudem offensichtlich Winkeldiskordanzen günstige Akkumulationshorizonte bilden, so sind auch hier die ersteren mit den energischeren paläotopographischen Reliefs im Vorteil gegenüber den letzteren mit mehrheitlich Parakonordanzen und weniger ausgeprägten paläotopographischen Reliefs.

6. Schlussfolgerungen

Stratigraphie

E-log Korrelation, pollenstratigraphische Untersuchungen und Mikropaläontologie ergeben, dass die erdölprospektiven Sedimente von Sergipe-Alagoas durch 8 Hauptdiskordanzen unterteilt werden können, nämlich:

- Zwischen nicht datiertem Präkambrium bis Paläozoikum und Pennsylvan
- Zwischen Pennsylvan und Perm
- Zwischen Perm und oberstem Jura bis basaler Kreide
- Zwischen nicht näher differenzierter Prä-Apt Unterkreide und Unterapt
- Zwischen Unter- und Mittel- bis Oberapt
- Zwischen Oberalb und Turon
- Zwischen Santon und Campan
- Zwischen Paleozän und jüngerem Tertiär bis Quartär.

Die zeitliche Einstufung der durch diese Diskordanzen sich ergebenden, natürlichen Arbeitseinheiten für die E-log Korrelation ist noch nicht überall zeitstratigraphisch gesichert. So bestehen besonders noch Unsicherheiten in der Korrelation der nichtmarinen Unterkreide.

Die Hauptmerkmale der Faziesentwicklungen sind:

- Ungestörte intrakratonische, mehrheitlich limnisch-estuarine bis kontinentale, mehrheitlich feinklastische Sedimentation in Pennsylvan, Perm und oberstem Jura.
- Rapiden lateralen und vertikalen Wechseln unterworfen, intrakratonische, fein- bis grobklastische, von limnischen Karbonaten durchsetzte, nach oben durch Evaporite abgeschlossene Grabensedimente in der nicht näher differenzierten Unterkreide bis und mit Unterapt.
- Differenzierung in paramiogeosynklinale, gemischte, marine, klastische und karbonatische Schelfsedimente einerseits und nichtmarine, klastische und karbonatische Grabensedimente andererseits während des mittleren bis oberen Apts.
- Differenzierung perikratonischer Schelfsedimente entsprechend stabilen und instabilen Ablagerungsräumen von Alb bis Paleozän. In dieser gemischten Schelffazies herrschen periodisch entweder klastische oder karbonatische, oder Sedimente beider Typen zu ungefähr gleichen Teilen vor.
- Perikratonisch-litorale bis epikontinentale, klastische Fazies vom oberen Tertiär bis Quartär.

Tektonik

Für die paläogeographische Entwicklung bedeutende SSE–NNW, S–N und SSW–NNE verlaufende Brüche sind in der Prä-Apt Unterkreide entstanden. Unter diesen sind einige im Verlaufe des Apt erneut aktiv geworden. Die generell SW–NE verlaufenden Brüche, und unter diesen der grösste Teil des Hauptgrabenrandes, entstanden im Apt (? Unterapt, Sequenz 5).

Ein tektonischer Stilwandel vollzog sich von Mittelapt bis Alb und veranschaulicht die Genese und Migration eines Kontinentalrandes. Unter Migration des SW–NE verlaufenden Hauptrandes von NW nach SE, geht der intrakratonische Graben in ein perikratonisches Becken über. Die intrakratonischen Grabenränder werden, durch kontinuierliche Separation und den dadurch ermöglichten sich stabilisierenden Sedimentvorbau, zu migrierenden Kontinentalrändern.

Während und nach dem Abspielen des obigen Vorgangs war in Sergipe-Alagoas das System normaler synthetischer und antithetischer Brüche auch kompressiven Stressen ausgesetzt, die wohl rechts- und linkshändige Versetzungen, aber keine, in klassischen Gewölbstrukturen resultierenden, Stauungen in den Sedimenten zur Folge hatten.

Aus der Analogie der stratigraphischen Entwicklungen und der zeitlichen Übereinstimmung der tektonogenetischen Vorgänge in Sergipe-Alagoas und Gabon, aus der komplementären Küstengeometrie, aus der regionalen Strukturergänzung mesozoisch-tertiärer und präkambrischer Strukturen diesseits und jenseits des Atlantiks in dem in Fig. 15 wiedergegebenen Abschnitt, bestehen drei Hauptargumente, die für die ursprüngliche kontinentale Einheit Südamerikas und Afrikas Beweismaterial liefern. Damit ist nichts über den Mechanismus der Separation der Kontinente ausgesagt. Zukünftige Hypothesen über *kontinentale Separation* müssen natürlich auch die oben erwähnten lokalen Mechanismen erklären helfen.

Erdölmöglichkeiten und Exploration

Ölmutterformationen sind in Fazies a, in den Shales 1, 2 und 3, in Fazies g und den Calumbi-Shales voraussetzbar.

Reservoirfazies ist vorhanden in der Chert- und Delta-Formation, Fazies b, e, c 1?, c 2, h und i. In allen diesen Speichergesteinen ist, mit Ausnahme der Delta-Formation, die Porosität und Permeabilität als Folge kalkiger und tonig-siltiger Zementierung grossen Schwankungen unterworfen.

Akkumulationen sind stratigraphisch und stratigraphisch-strukturell bedingt, und die bisher bedeutendste (Carmopolis) ist in erster Linie an eine SW-NE verlaufende Hauptbruchzone, Winkeldiskordanz und spezielle hydrodynamische Verhältnisse gebunden.

Trotz Ansätzen von Mittel- bis spätkretazischer Kompressionstektonik fehlen reine Gewölbestrukturen. Ebenso ist, trotz mächtiger Salzlager im Apt, bisher keine Diapirtektonik nachweisbar. Die mit diesen Phänomenen verbundenen Explorationsprognosen (Antiklinalbohrungen, Erbohren halokinetischer Strukturen) kommen deshalb kaum oder nur untergeordnet in Betracht.

Die Exploration wird also ausgesprochen intensiv gestaltet werden müssen, was die Erforschung lithofazieller, zeitstratigraphischer und hydrodynamischer Verhältnisse entlang den synthetischen und antithetischen, normalen Hauptbruchzonen mit angrenzender unterkretazischer Kolonne anbetrifft. Das gilt vor allem für das Auffinden von Akkumulationen innerhalb der Sequenzen 3-6. Akkumulationen innerhalb der Sequenzen 1 und 2 sind wohl möglich, aber als erratisch zu taxieren. Solche in Sequenz 7 müssen, wegen der untiefen Lage der Sequenz und der leicht möglichen natürlichen Entleerung ebenfalls als erratisch taxiert werden. Sequenz 8 ist ein nicht zu unterschätzender Prospekt. Sie ist vor allem auf fazies- und diskordanzgebundene Akkumulationen, also mehrheitlich stratigraphische Fallen, zu explorieren.

Erwägt man auf Grund der bisherigen Erfahrungen, unter dem Gesichtswinkel der strukturellen und stratigraphischen Gegebenheiten und dem Erfolg bei Carmopolis, die Chancen der zukünftigen Exploration, so ist zu sagen, dass sowohl faziiell als auch strukturell die intrakratonische Anlage von Sergipe-Alagoas grösseren Erfolg verspricht als die perikratonische. Diese Feststellung sollte insofern Berücksichtigung finden, als überall da, wo es die Kapazität des Bohrergeräts erlaubt, Explorationsbohrungen unter allen Umständen bis zur Kreidebasis abgeteuft werden sollten.

Literaturverzeichnis

- BELMONTE, Y. C.: Erdölfelder in Gabun. Erdöl und Kohle, 15. Jg., Sept. 1962, Nr. 9.
BENDER, F.: Zur Geologie des Küstenbeckens von Sergipe, Brasilien. Geol. Jb., Bd. 77, pp 1-34, Okt. 1959.

- BEURLEN, K. a): Die paläogeographische Entwicklung des südatlantischen Ozeans. *Nova Acta Leopoldina*, NF, Nr. 154, Bd. 24, 1961.
- b): Die Kreide im Küstenbereich von Sergipe bis Paraíba do Norte (Brasilien). *Z. deutsch. geol. Ges.*, Jg. 1960, Bd. 112, 3. Teil, April 1961.
- c): O Turoniano marinho do Nordeste do Brasil. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, vol. 10, no. 2, Maio 1961.
- BITTERLI, P.: Untersuchung bituminöser Gesteine von Westeuropa. *Erdöl und Kohle*, 15. Jg., Jan. 1962, Nr. 1.
- COREY, W. H.: Effects of lateral faulting on oil exploration. *AAPG*, Vol. 46, No. 12, Dec. 1962.
- COSSON, J.: Notice explicative sur les feuilles Pointe-Noire et Brazzaville. *Gouvernem. Gén. de l'Afrique Equat. Française*, Paris 1955.
- DUARTE, A.: Idade dos calcários do Morro do Chaves. *Bol. Serv. Geol. e Miner.*, 78, Rio de Janeiro 1936.
- GRABERT, H.: Das Reconcavo-Bahiano, Brasiliens einziges Erdölrevier. *Erdöl und Kohle*, 14. Jg., Sept. 1961, Nr. 9.
- KRÖMMELBEIN, K.: Stratigraphische Probleme in den wichtigsten Erdöl-Aufschlussgebieten Brasiliens. *Erdöl und Kohle*, 14. Jg., Nov. 1961, Nr. 11.
- KÜNDIG, E.: Essay on some geosynclinal problems. *Bataafse Internationale Petroleum Maatschappij*, EA-Bulletin, Nr. 70, Oct. 1957.
- LINK, W. K.: The sedimentary framework of Brasil. *Proc. 5th World Petr. Congr.*, Sect. 1, pp 901–923, New York 1959.
- LOMBARD, A. & PIERARD, H.: Evolution d'une série marginale: Le Crétacé du Bas Congo Belge. *Revue de l'Ist. Français du Pétrole*, XII, No. 4, Avril 1957.
- MOTA, L.: Posição estratigráfica do Morro do Chaves. *Rev. Escala Minas*, 14/6, pp 5–7, Ouro Preto 1949.
- NICKLES, M. & HOURCQ, V.: Carte géologique de l'A. E. F. et du Cameroun, avec notice explicative. *Gouvernem. Gén. de l'A. E. F., Direction des Mines et de la Géologie*. Paris, Imprimerie nationale 1952.
- NORTHROP III & MEYERHOFF, A. A.: Validity of polar and continental movement hypothesis based on paleomagnetic studies. *AAPG*, Vol. 47, Nr. 4, April 1963.
- PAVONI, N.: Aktive Horizontalverschiebungen der Erdkruste. *Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing.*, Vol. 31, Nr. 80, Sept. 1964.
- PETRI, S.: Foraminiferos cretáceos de Sergipe. *Boletim No. 265, Cadeira No. 20, Sao Paulo, Brasil*, 1962.
- PETROLEO BRASILEIRO S.A. (PETROBRAS): Interne, unveröffentlichte Rapporte der Geologen AMARAL, BAUER, BENDER, BISOL, CHAVES, MOTA, MOURA (DE), MÜLLER, PERELLA, RÜEFLI, TEIXEIRA, TROELSEN, TSCHUDY, WEBER.
- RASSMUS, J. E.: New discoveries improve oil prospects in Brazil. *World Oil*, February 1, 1966.
- RÜEFLI, W.: Groupe No. 1 de prospection volante générale du Mayombe. *Bureau Minier de la France d'Outre-Mer*. Unveröffentlichte Rapporte, 1952-53.
- WELTE, H.: Über die Beziehungen zwischen Erdölen und Erdölmuttergesteinen. *Erdöl und Kohle*, 17. Jg., Juni 1964, Nr. 6.
- WIECHER, C.: Ein Beitrag zur Altersdeutung des Reconcavo, Bahia (Brasilien). *Geol. Jb.*, Bd. 77, pp 35–58, Okt. 1959.