

Das Paranabecken, ein Spezialfall in der erdölgeologischen Exploration

Autor(en): **Rüfeli, Werner**

Objektyp: **Article**

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

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

Heft 83

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-193997>

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.

Das Paranabecken, ein Spezialfall in der erdölgeologischen Exploration*

Mit 25 Figuren im Text

VON WERNER RÜEFLI **

Inhalt

Zusammenfassung – Abstract

1. Stratigraphie
 2. Mutter- und Speichergesteine
 3. Vulkanismus und regionale Strukturen
 4. Erdölmöglichkeiten
 5. Folgerungen
- Literaturverzeichnis

Zusammenfassung – Abstract

Es wird kurz über neuere erdölgeologische Untersuchungen, die besonders der Stratigraphie und dem Einfluss des Vulkanismus im Paranabecken Brasiliens gewidmet waren, berichtet. Auf detaillierte Faziesbeschreibungen und Fossilisten, die in OLIVEIRA 1956 und in SANFORD & LANGE 1960 nachgeschlagen werden können, wurde verzichtet.

Das Paranabecken (Fig. 1) erwies sich als Heimat zahlreicher epirogenetischer Strukturen unterschiedlichen Alters, von Paläozoikum bis Mesozoikum. Ihr Einfluss auf die Faziesverteilung wird anhand von Sand-Shale Verhältnissen illustriert.

Die Injektionen und Extrusionen basischer Eruptiva in Trias und Jura hatten wohl starken zerstörerischen Einfluss auf die damals bestehenden primären und sekundären Akkumulationen von Erdöl, indem sie ihre natürliche Entleerung beschleunigten. Sie bilden das Spezialproblem in jedem Aspekt der Exploration dieses Beckens.

Die Möglichkeit, im Paranabecken auf ökonomisch nutzbare Mengen von flüssigen oder gasförmigen Hydrokarbonaten zu stossen, ist geringer als jene in faziell ähnlich sich verhaltenden intrakratonischen Becken ohne Eruptivgesteinsinjektionen. Die Gründe hiezu werden dargelegt und zur Diskussion gestellt.

This report deals with oilgeological investigations made especially with regard to stratigraphy and the influence of volcanism in Brazil's Parana Basin.

During Paleozoic and Mesozoic the Parana Basin (Fig. 1) has been the homeland of many epirogenetic movements. The influence of these on facies distribution is shown on sand-shale ratio maps.

Injections and extrusions of basic eruptive rocks during Triassic and Jurassic most probably have had a destroying influence on already existing primary and secondary oil accumulations, in accelerating the latter's natural depletion. They constitute the main problem for every aspect of exploration in this basin.

The possibility to find economical accumulations of liquid and gaseous hydrocarbons in the Parana Basin is smaller than in basins with similar sedimentary facies but without eruptive rock injections. The reasons are explained, and submitted for discussion.

1. Stratigraphie

Generelles:

Von insgesamt 52 Bohrungen wurden 17 in palynologische Untersuchung gegeben. Zur Zeit der Abfassung dieser Studie im Januar 1965 standen die noch zum Teil unvollständigen Resultate aus 7 Bohrungen zur Verfügung.

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

** Adresse: Dr. W. RÜEFLI, Geologe, 4622 Egerkingen, Schweiz



Fig. 1

Fig. 1: Lithostratigraphische Karte des Paranabeckens. Aus Darstellungsgründen ist am Westrand des Ponta-Grossa-Bogens zwischen J. Tavora und Torres die Rio-do-Rasto-Gruppe unter dem Symbol der Estrada-Nova-Gruppe subsummiert. Für die Symbole siehe strat. Legende Fig. 2.

Profile: AA (Fig. 3), BB (Fig. 4), CC (Fig. 5).
 Gewässer: R.Pa. Rio Parana-Paranaíba, R.Py. Rio Paraguay, R.U. Rio Uruguay-Pelotas.
 Ortsnamen: Al Alegrete, Am Amambai, An Angatuba, Aq Aquidauana, Ar Araçatuba, As Asuncion, At Alto Garças, Ba Barra Nova, Bl Blumenau, Bo Botucatu, Ca Campo Grande, Cc Caçador, Cd Candido de Abreu, Ci Campinas, Cm Camapua, Cn Canoinhas, Co Corumba, Cp Campo de Murao, Cr Curitiba, Cu Cuiaba, Do Dourados, Go Goiania, Gu Guarapuava, Ja Jatai, Jt J. Tavora, La Lajes, Lr Laranjeiras do Sul, Ma Marcellino Ramos, Mi Mineiros, Ol Olimpia, Or Ortigueira, Pa Porto Alegre, Pe Pelotas, Pn Ponta Grossa, Po Porto Camargo, Pp Paraguaçu Paulista, Pr Presidente Epitacio, Pt Porto Uniao, Ri Rio Claro, Sa Sao Gabriel, Ta Tangara, To Torres, Tq Taquara Verde, Tr Três Lagoas, Ue Überlandia, Vi Villarrica.

Zeit	Litho-Stratigraphie	E-log Einheiten	
KREIDE-REZENT		7	
JURA	x SG x x x x B x x	6	
TRIAS	x x x B	5	
PERM	B RR EN G I	422 421 L 421 M 421 E 41 34 33 32	4 3
KARBON		31	
DEVON	I PG F	22 21	2
KAMBRO-SILUR		1	
PRÄKAMBRIUM	+ + +	BASAL	

Fig. 2: Stratigraphisches Schema Paranabecken.
 Lithostratigraphische Einheiten: F Furnas Sandstein, PG Ponta-Grossa-Shale, I Itarare-Gruppe, G Guata-Gruppe, EN Estrada-Nova-Gruppe, RR Rio-do-Rasto-Gruppe, B Botucatu-Sandstein, SG Serra-Geral-Basaltformation.
 E-log Einheiten: 1-7 Sequenzen; 21-22,31-34, 41-42 Subsequenzen; 421-422 Sektionen; 421 E, 421 M, 421 L Subsektionen. Die E-log Einheiten werden mittels palynologischer Zonierung kontrolliert und als angenähert zeitstratigraphische Einheiten behandelt.

Die angenähert zeitstratigraphischen Korrelationen der über das ganze Paranabecken zerstreuten Bohrungen basieren vor allem auf dem E-log und Leithorizonten, und sind darum auch über grössere Gebiete, vor allem im südwestlichen, westlichen und nördlichen Teil des Beckens noch unsicher. Die lithostratigraphischen Korrelationen, eingliedert in dieses Schema, offenbaren dennoch deutlich den heterochronen Verlauf der meisten Gesteinseinheiten, dies besonders innerhalb der gesicherten zeitstratigraphischen Korrelationen am Ostrand des Beckens. Auf letztere stützt sich zur Hauptsache das in Fig. 2 präsentierte stratigraphische Schema.

Für die E-log Arbeitseinheiten (Sequenzen, Subsequenzen, Sektionen und Subsektionen) wurde nach Möglichkeit darauf geachtet, regionale Diskordanzen oder Parakon-

kordanzen als Grenzen zwischen den grossen Einheiten zu wählen, ähnlich wie das auch in einer regionalgeologischen Arbeit über das Sergipe-Alagoas-Becken befolgt wurde (RÜEFLI 1966).

Alle Mächtigkeiten sind scheinbare, da keine Dipmeterlogs aufgenommen wurden. Da sich aber die Fallwinkel, ausser in unmittelbarer Nachbarschaft von Brüchen und Dykes, nur selten über subhorizontale Beträge erheben, dürften die scheinbaren Mächtigkeiten den wirklichen sehr nahe kommen.

Um später aus den Korrelationen das Strukturbild möglichst objektiv konstruieren zu können, musste der Einfluss des im Paranabecken so verbreiteten Subvulkanismus auf die stratigraphischen Korrelationen abgeklärt werden. Dies machte es notwendig, in den Bohrungen Dykes und Sills unterscheiden zu können, was aber nur durch stratigraphische Methoden möglich war. Petrographisch verhalten sich Sills und Dykes, und ihnen gegenüber das injizierte Terrain, durchaus analog. Da für die Korrelation eines einzelnen Sills sowohl das lithostratigraphische als auch das zeitstratigraphische Argument ausfällt (sämtliche Sills sind Diabase; sämtliche Sills sind von angenähert gleichem Alter), so muss hier ein mit Injektionsprinzipien verbundenes Argument zu Hilfe genommen werden. Injektionen erfolgen in Horizonten geringster Kohäsion, welche sich durch verschiedene Lithotope hindurch fortsetzen können, d.h. der injizierte Sill folgt ungefähr der Primärstratifikation. Solche Horizonte sind, in klastischen Sedimenten mehr als in chemischen, angenähert zeitstratigraphische Horizonte, welche durch sorgfältige E-log oder paläontologische Korrelation verfolgt werden können. Dabei hat das von den injizierten Schichten geborgte zeitstratigraphische Argument nichts zu tun mit dem Alter des korrelierten Sills. Die solcherweise korrelierten Sills ermöglichen dann die genauere Ermittlung der Mächtigkeiten der sedimentären Kolonne.

E-log Einheiten

Die *Basale Sequenz* umfasst die kristallinen Schiefer und Eruptivgesteine des brasilianischen Schildes.

Sequenz 1 umfasst paläontologisch nicht datierte, vorläufig ins Kambro-Silur gestellte Schichten, bestehend aus terrestrischen, fluvioglazialen und estuarinen, gering mächtigen Sedimenten. Die oft unregelmässige Lagerung, und zum Teil Trümmerstrukturen, weisen auf zahlreiche tektonische Störungen.

Die ältesten Sedimente, die ölgeologisch von Interesse sind, liegen diskordant über Sequenz 1. Diese, in *Sequenz 2* zusammengefasst und bis zu 1500 m mächtig (Fig. 6), sind unterteilt in die Subsequenzen 21 und 22, und gehören ins Devon (Parana Serie). Es hat sich gezeigt, dass tiefste Teile der als Itarare-Gruppe bestimmten Fazies in Bohrungen bei Paraguaçu Paulista, östlich Campo Grande und Dourados, noch ins Devon gehören, und dass laterale Übergänge von Ponta-Grossa-Shale in die erwähnte Itarare-Fazies vorkommen. In der letzteren sind Tillite in mehreren gekernten Intervallen nachgewiesen (Paraguaçu Paulista, Três Lagoas). Bei Três Lagoas sind diese bisher ältesten Itarare-Sandsteine von dunkelgrauen bis schwarzen Shales durchsetzt. Ausserdem sind die Ponta-Grossa-Shales westlich von Ponta Grossa mit einer transgressiven, siltig-tonigen Sandfazies, den Tibagi-Sandsteinen, wechsellagernd. Die von SANFORD & LANGE vermuteten, lateralen Übergänge zwischen Ponta-Grossa-Shale und Furnas-Sandstein sind nicht mit Sicherheit nachgewiesen. Das stratigraphische Schema für das Devon verhielte sich demnach etwa folgendermassen: Die bis zu 300 m mächtigen Furnas-Sandsteine (Unterdevon), die sich als epikontinentales Sandsteinbrett über das gesamte Verbreitungsgebiet des Devons im Paranabecken ausdehnen, werden nach oben durch eine

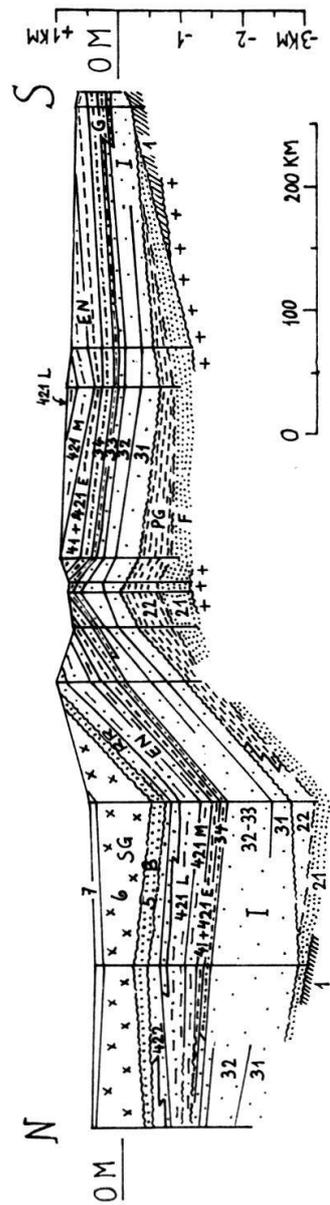
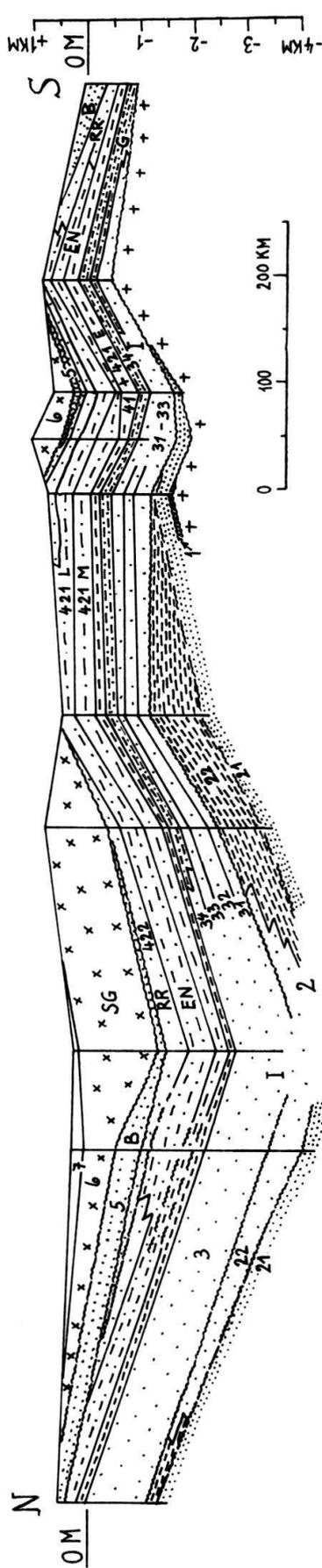
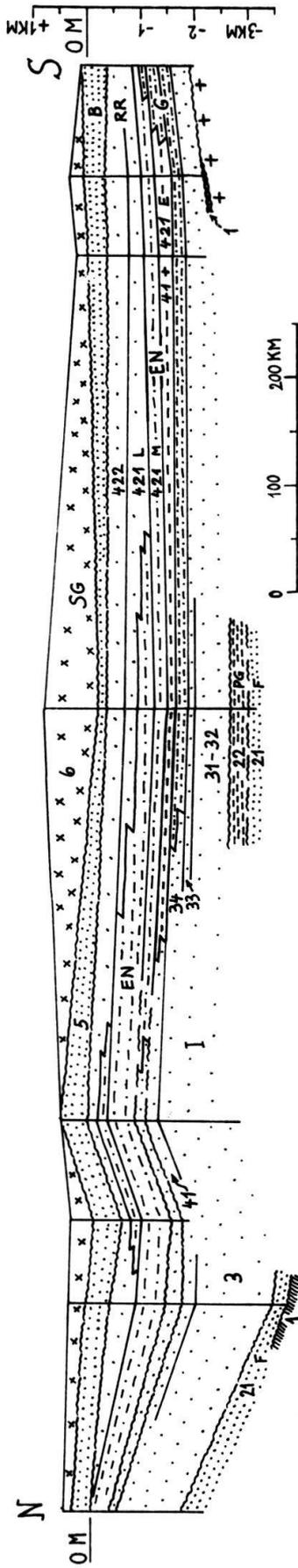


Fig. 3-5: Stratigraphische Längsprofile durch das Paranabecken (Lokation siehe Fig. 1).
 Profil A: Campo Grande - Alegrete.
 Profil B: Jatai - Torres.
 Profil C: Olimpia - Barra Nova.
 Für Symbole siehe Fig. 2.

Parakongordanz abgeschnitten. Sie sind in der Subsurface als Subsequenz 21 kartiert und werden transgressiv überlagert von den Ponta-Grossa-Shales, ältesten Itarare-Sandsteinen und den Tibagi-Sandsteinen der Subsequenz 22 (Mitteldevon). Diese letztere zeigt im Raume von Campo Murao, Ponta Grossa und Caçador im Süden, und Alto Garças, Mineiros und Jataí im Norden, die strukturelle Differenzierung des Paranabeckens in zwei mitteldevonische Teilbecken an, das Guarapuava-Becken im Süden, und das Mineiros-Becken im Norden. Die Mächtigkeit der Subsequenz 22 beträgt im südlichen Becken bis zu 900 m, inklusive diabatische Sills.

Sequenz 3, welche diskordant über Sequenz 2 einsetzt, umfasst bis zu 1700 m mächtige oberkarbonisch-permische Sedimente (Tubarao-Serie). Sie ist in vier Subsequenzen, Nr. 31–34, unterteilt. Die Subsequenzen 31–33 (Fig. 7) enthalten fast ausschliesslich Itarare-Fazies, d.h. nur in der späten Subsequenz 33 sind sowohl Guata- als auch Itarare-Fazies vertreten; Guata im Südosten, Itarare im Nordwesten. Subsequenz 34 (Fig. 8) vereinigt Itarare-Fazies und die Sedimente der Guata-Gruppe zu gleichen Teilen. Beide Faziestypen gehen also lateral ineinander über und sind nicht, wie bisher, als zeitstratigraphische Einheiten – die glaziale Itarare-Fazies unten, die postglaziale Guata-Fazies oben – zu betrachten. Intensive Feldarbeit der letzten Jahre, und die dem vorliegenden Aufsatz zugrunde liegende Subsurface-Studie, haben den heterochronen Verlauf der Itarare- und Guata-Gruppe nachgewiesen.

Laufende palynologische Untersuchungen ziehen die Grenze zwischen Karbon und Perm innerhalb Subsequenz 32, d.h. wesentlich tiefer als im bisher angenommenen Top der Tubarao-Serie.

Kongordant über Sequenz 3 folgt *Sequenz 4*, welche die Sedimente der Passa-Dois-Serie umfasst. Sie ist in zwei Subsequenzen, Nr. 41 und 42 unterteilt, von denen die letztere in zwei Sektionen, Nr. 421 und 422, unterteilt wurden. Sektion 421 ist noch in drei Subsektionen, nämlich 421 E (Early), 421 M (Middle) und 421 L (Late), unterteilt. Die Mächtigkeit der Sequenz erreicht im Maximum gegen 1500 m.

Subsequenz 41 (Fig. 9) enthält im ganzen südlichen Paranabecken nur die Irati-Shale-Formation und lediglich im nordwestlichen Beckenteil Übergänge zur Guata-Fazies; ganz im Norden wiederum, im Mineiros-Becken, Irati-Fazies. Subsequenz 41 ist sehr wahrscheinlich im Gebiet Campo Grande-Uberaba entweder nicht abgelagert oder dann erodiert worden.

Subsequenz 42 enthält, vorwiegend in Sektion 421 (Fig. 10), die unterschiedlich estuarinen Sedimente der Estrada-Nova-Gruppe ohne Irati-Shale. Da gegen Westen und Nordwesten die E-log Korrelation unzuverlässig wird, ist nicht mit Sicherheit zu sagen, ob Sequenz 4 an der Basis noch Itarare-Fazies enthält. Entsprechend der vorliegenden Korrelation scheint Itarare-Fazies tatsächlich noch bis in den Top der Subsektion 421 M vorzukommen, d.h. bis ins obere Perm (Fig. 3). Die mehr deltatischen Sedimente der Rio-do-Rasto-Gruppe sind vorwiegend in Sektion 422 (Fig. 11) enthalten. Im zentralen Beckengebiet von Presidente Epitácio bis Marcellino Ramos sind allerdings frühe Schichtglieder der Sektion 422 noch zur höhern Estrada-Nova-Gruppe zu rechnen und zwar über eine Profilmächtigkeit von gegen 500 m.

Innerhalb der späten Sektion 422 erscheinen stellenweise bereits Sedimente, die als tiefste Botucatu-Sandsteine angesprochen werden müssen. Sie wechsellagern mit der Piramboia-Fazies, welche Conchostraceen enthält und somit noch ins Perm gehört. Die gesamte Sequenz 4 ist demnach vermutlich mittleres bis oberes Perm.

Eine markante Diskordanz trennt Sequenz 4 von der mit fraglichem Perm bis fossilbelegter Trias datierten, bis zu 600 m mächtigen *Sequenz 5* (Fig. 12), welche die Hauptmasse der Formation Botucatu und Sta. Maria enthält (Sao-Bento-Serie pp). Da in Rio Grande do Sul die Botucatu-Formation, innerhalb Sequenz 5, über der reichlich triasi-

sche Fossilien führenden Sta.-Maria-Formation ausstreicht, muss sie, von Norden nach Süden, einen ziemlich heterochronen Verlauf aufweisen (siehe Sequenz 4).

Über einer «discordance de ravinement» folgt auf Sequenz 5 die leicht korrelierbare Basaltdecke der bis 1500 m mächtigen *Sequenz 6* (Fig. 13), die stellenweise Botucatu-Sandsteine einschliesst. An der Universität von Sao Paulo angestellte Untersuchungen über absolutes Alter ergaben für Basalte aus Bohrungen Lias (PETROBRAS).

Die konkordant über den Laven folgende dünne jurassisch-kretazische Sedimentdecke wurde als *Sequenz 7* bezeichnet, aber wegen ihrer Bedeutungslosigkeit für die Prospektion nicht näher untersucht.

Palynologie

In der im palynologischen Labor in Salvador begonnenen Untersuchung über die Verteilung der Sporomorphen Monosaccites, Disaccites und Monoletes, wurden Zonen und Subzonen innerhalb des Pennsylvans und Perms definiert. Diese gründen sich vor allem auf die Bestimmung von verschiedenen Typen von Lueckisporites, Ginkgocyadophytes, Striatites, Vittatina, Limitosporites, Florinites, Laevigatosporites, Verrucosporites, Nuskoisporites und Vestigisporites.

Das auf Loxomma und Heteropekten beruhende, oberpennsylvane Alter für die Guata-Gruppe der jüngeren Tubarao-Serie wird heute durch diese palynologischen Bestimmungen angezweifelt. Die schon sehr bald über der devon-karbonen Diskordanz einsetzenden Lueckisporites, Nuskoisporites und Vestigisporites lassen annehmen, dass das Perm früher als bisher vermutet einsetzte, und zwar etwa innerhalb der frühen Subsequenz 32 der vorliegenden Unterteilung (Fig. 2-5).

2. Mutter- und Speichergesteine

Muttergesteine

Seit Beginn der Erdölprospektion im Paranabecken wurden die *Ponta-Grossa-Shales* der Subsequenz 22 (Mitteldevon) auf Grund ihrer dunkelgrauen bis schwarzen Farbe, marinen Provenienz und ihres zerstreut auftretenden Bitumengehalts als Mutterformation betrachtet. Aus Fig. 14 geht hervor, dass sie ein Gebiet von schätzungsweise 350–500 000 km² bedecken. Das Hauptverbreitungsgebiet, mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 250 m und einem Sand-Shale Verhältnis kleiner als 1, ist am Westrand des Ponta-Grossa-Bogens gelegen und bedeckt nicht über 75 000 km² (Guarapuava-Becken). Im übrigen Verbreitungsgebiet steigt, zufolge Sandzunahme gegen die Randgebiete des Paranabeckens (eingeschlossene, alte Itarare- und Tibagi-Sandsteine), das Sand-Shale-Verhältnis allmählich an, und nur im Mineiros-Becken im Norden scheint das Sand-Shale Verhältnis den Wert 2 über ein grösseres Gebiet nicht zu übersteigen. Über ein weiteres, grösseres Gebiet zwischen Campo Grande, Camapua und Araçatuba, besteht die Möglichkeit des Fehlens jeglicher Ponta-Grossa-Fazies (erodiert oder versandet).

Aus den Sand-Shale-Verhältnissen in den Subsequenzen 31–33 (Fig. 15) der Tubarao-Serie geht hervor, dass der pelitische Anteil dieser paralisch-limnischen, glazialen bis subglazialen Sedimente, nur wenige, unregelmässig zerstreute Shale-Einschaltungen enthält, die als Mutterformation in Frage kommen könnten. Die unter den Lokalnamen Capivari, Ortigueira, Guarauna und *Passinho* bekannten, heterochronen, marinen Einschaltungen, die sich zum Teil in die Subsequenz 34 fortsetzen, erreichen z. B. nicht mehr

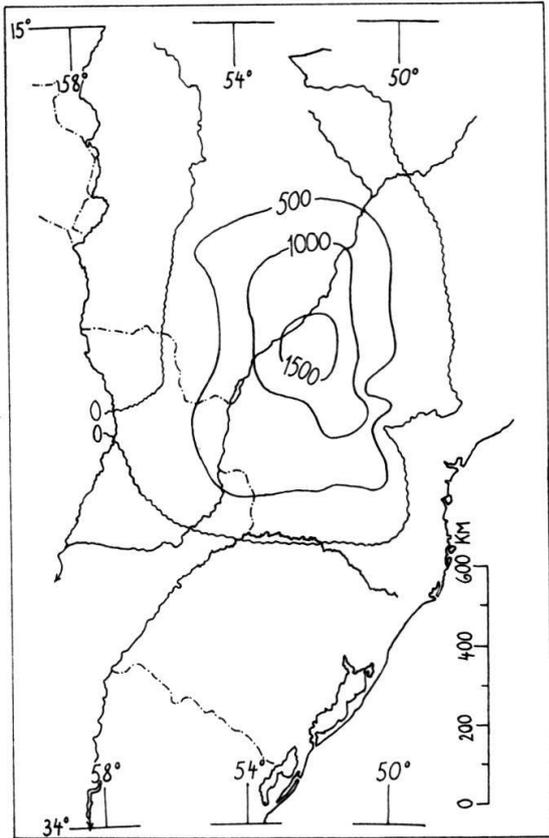


Fig. 6

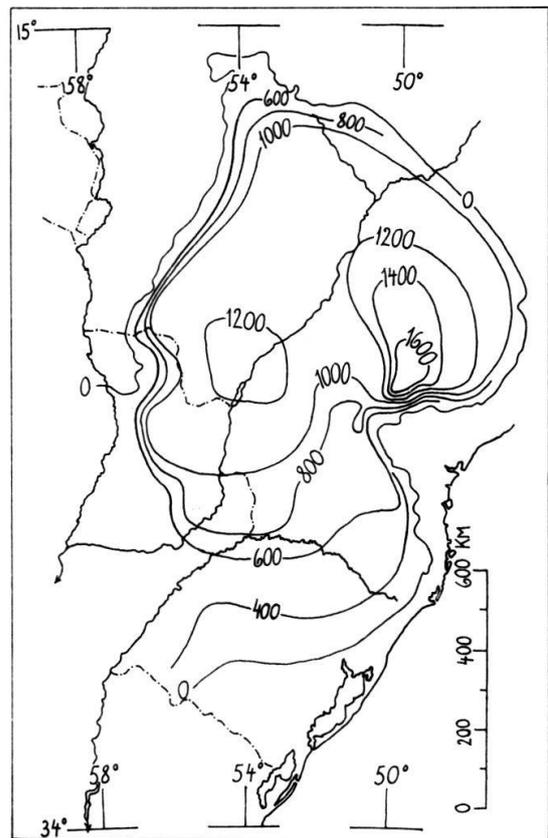


Fig. 7

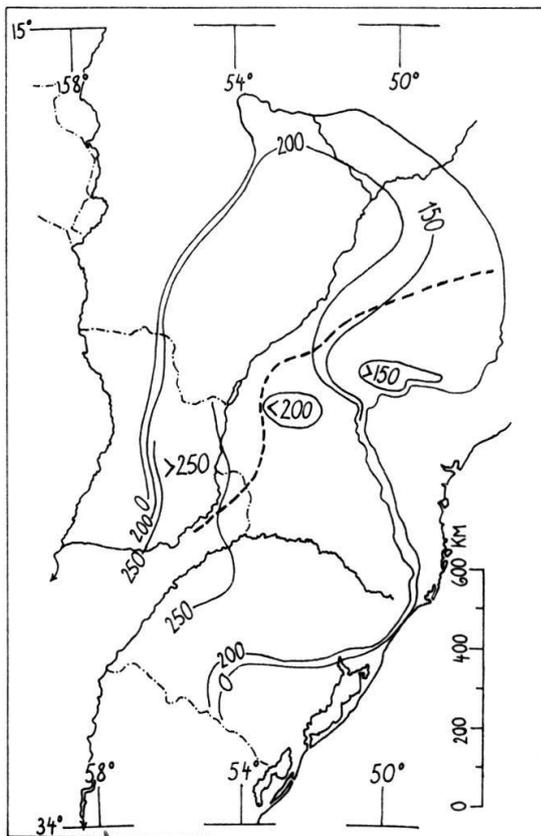


Fig. 8

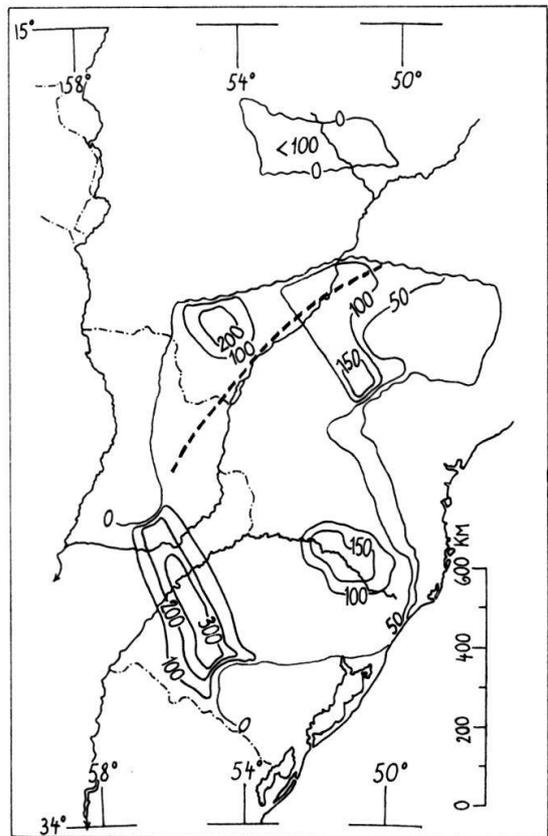


Fig. 9

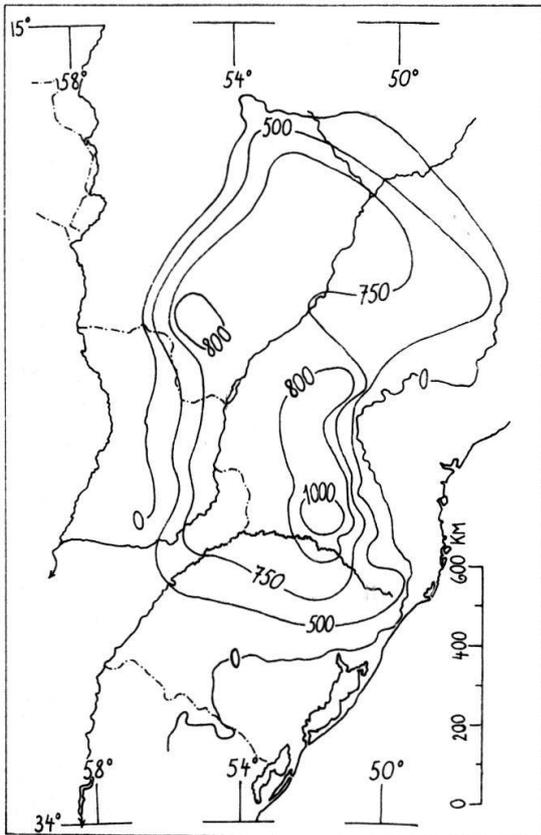


Fig. 10

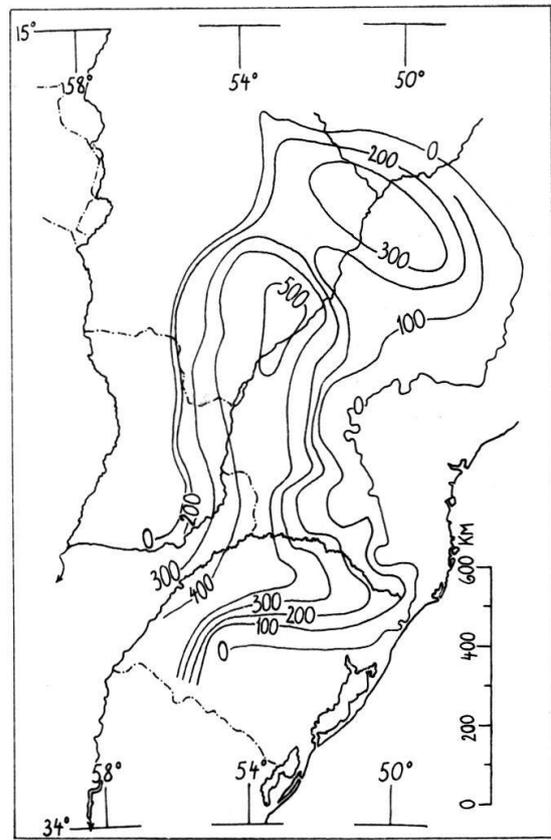


Fig. 11

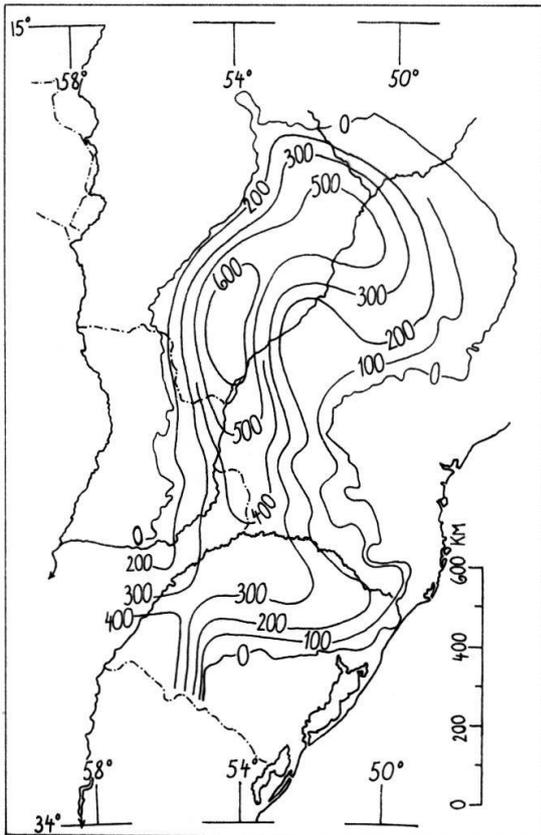


Fig. 12

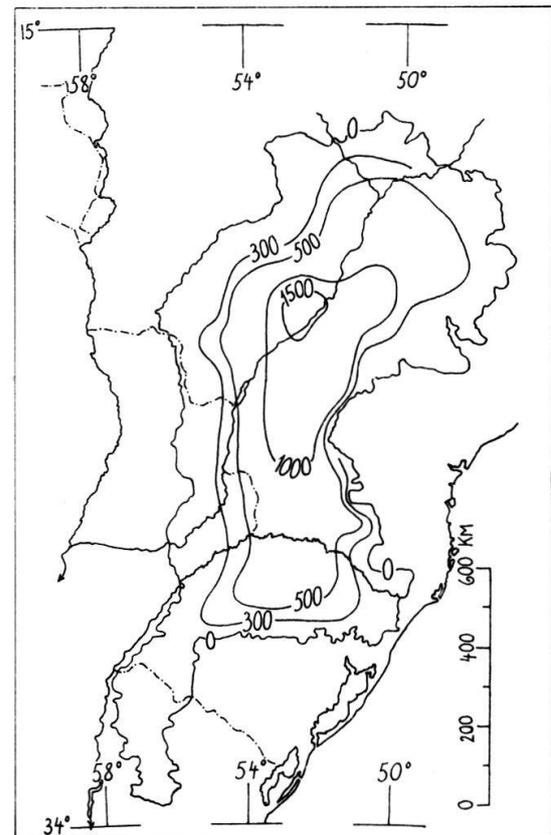


Fig. 13

Fig. 6–13: Isopachen-Karten der E-log Einheiten: Fig. 6 Sequenz 2, Fig. 7 Subsequenzen 31–33 als eine Einheit, Fig. 8 Subsequenz 34 (die gestrichelte Linie trennt die Guata Fazies im SE von der Itarare-Fazies im NW), Fig. 9 Subsequenz 41 (die gestrichelte Linie trennt die Irati-Fazies im SE von der Guata-Fazies im NW), Fig. 10 Sektion 421, Fig. 11 Sektion 422, Fig. 12 Sequenz 5, Fig. 13 Sequenz 6. Sämtliche Isopachenkarten schliessen die in den verschiedenen Einheiten vorkommenden Sills ein.

als 20–40 m Gesamtmächtigkeit zwischen Ortigueira und Canoinhas, und ihre detaillierte Korrelation scheitert an der Unregelmässigkeit ihrer Verbreitung. Diese somit linsenartig verteilten Shales, die anscheinend etwas häufiger im südöstlichen, östlichen und zentralen Paranabecken vorkommen, können nur sehr zurückhaltend als potenzielle Mutterformationen angesprochen werden. Bituminöse Imprägnierung bei Angatuba und Ölsuren bei Tangara, beide in Sektion 332, und bei Barra Nova in Subsequenz 32, könnten allerdings durch Migration aus den Passinho-Shales erklärt werden.

Die in Subsequenz 34 vertretenen, marinen Shales aus den späten Sedimenten der Tubarao-Serie, darunter siltige Shales der Palermo-Formation, die *Tatui-Shales* der Itapetinga-Formation und jüngste Schichtglieder von *Passinho-Shales* ergeben ein etwas günstigeres Sand-Shale-Verhältnis für diese Subsequenz (Fig. 16–17). Zahlreiche unbedeutende residuale Ölsuren und ein subkommerzielles Gasvorkommen bei Taquara Verde könnten durch Migration aus den erwähnten Shales erklärt werden.

Als potenzielle Erdölmutterformation des ?mittleren Perms gelten die *Irati-Shales* der Subsequenz 41 (Fig. 18), und Anteile der *Serra-Alta-Formation* der Subsektion 421 E (Fig. 19, subsummiert in Sektion 421), welche zusammen 50–150 m Mächtigkeit erreichen und über sehr weite Territorien verbreitet sind (Fig. 3–5). Zahlreiche Vorkommen unterschiedlichen, primären Bitumengehaltes in den Irati-Shales, und in den in sie eingeschlossenen Rio-Claro-Kalken (neuer Name, einen in der Bohrung Rio Claro definierten, aus bituminösen Kalken bestehenden, weithin korrelierbaren Leithorizont betreffend – PETROBRAS), sind Zeugen von Mutterformationseigenschaften dieser Gesteine. Es handelt sich bei Irati- und Serra-Alta-Fazies um die einzigen Mutterformationen von Bedeutung innerhalb der gesamten Passa-Dois-Serie. Jüngere, stark versiltete und versandete Shales dieser Serie, also etwa sporadisch eingeschaltete, auf brackisches Milieu deutende, weitere Schichtglieder der Estrada-Nova- oder Rio-do-Rasto-Gruppe, enthalten sehr wahrscheinlich keine Muttergesteine, oder fallen, zufolge des erratischen Vorkommens und unbedeutenden Volumens wegen, nicht in Betracht.

Speichergesteine

Die frühdevonischen *Furnas-Sandsteine* der Subsequenz 21 sind das älteste Speichergestein des Paranabeckens. Die grosse Ausdehnung über zwei Drittel des Beckens (Fig. 14) und die, wenn auch unterschiedlichen, im allgemeinen jedoch guten Porositäten von mehreren bis zu 30%, unterstreichen ihre Bedeutung als immenses Speicher-Volumen. Die Porosität ist hauptsächlich abhängig vom Ausmass der Verkieselung, vom feinsandig-siltigen und tonig-siltigen, zum Teil kaolinitischen Zement. Nichtvorhandensein lateraler Übergänge in Mutterformationen wirkt sich allerdings für die Akkumulationschancen ungünstig aus, und potenzielle Speicher innerhalb der Furnas-Sandsteine wären daher ausgesprochen strukturabhängig.

Die feinen siltigen, *Tibagi-Sandsteine* in Subsequenz 22, welche in den Ponta-Grossa-Shales als transgressive Sandsteine vorkommen, sind kein attraktives Speichergestein zufolge ihrer eher geringen Porosität und vermutlich kleinen Permeabilität. Es deuten aber einige leichte Shows (Geruch, Fluoreszenz, Spuren toten Öls) auf die ölgeologisch günstige Lage dieses Sandsteins inmitten und randlich der mächtigsten Mutterformation des Parana-Beckens hin. Das Vorkommen der Tibagi-Sandsteine ist auf die Teilbecken Guarapuava und Mineiros beschränkt.

Die in Subsequenz 22 bekannten, ältesten Schichtglieder der Itarare-Gruppe, aus Sandsteinen, etwas Tilliten und dunklen Shales bestehend, stehen vor allem im zentralen Beckengebiet und westwärts davon in lateralem Fazieswechsel mit den wenigen Linsen der in diesem Gebiet noch sporadisch erhalten gebliebenen Ponta-Grossa-Shales. Von

geringer Porosität, und zum Teil verkieselt, sind diese transgressiven Sandsteine, wie jene von Tibagi, keine guten Speicher.

Die *Itarare-Sandsteine* der Sequenz 3 (Oberkarbon-Unterperm) sind gekennzeichnet durch grosse Unregelmässigkeiten im Faziellen, in der Verbreitung, und in der Mächtigkeit individueller Schichtverbände und Linsen. Im allgemeinen von unterschiedlicher Porosität von 5–20%, aber zufolge der Feinheit, Versiltung, stellenweisen Verkieselung und des Tongehaltes, von niedriger Permeabilität, sind sie mit zahlreichen Unsicherheitsfaktoren behaftet. Dazu kommt, durch die häufigen Fazieswechsel bedingt, die Unsicherheit in der Korrelation, und damit in der Volumenberechnung individueller Speicher.

Die Gesamtmächtigkeit dieser Sandsteine innerhalb der Subsequenzen 31–33 erreicht im Norden gegen 1000 m und nimmt nach Süden wegen zunehmenden Tongehalts und Auskeilens der Subsequenz 31 allmählich bis auf 100 m ab. Parallel zur Verringerung der totalen Mächtigkeit geht also auch eine Verschlechterung der Reservoirqualität.

Als mögliche Heimat potenzieller Reservoirs dürften höchstens faziell günstige Itarare-Sandsteine über Ponte-Grossa-Shale mit niedrigem Sand-Shale-Verhältnis in Frage kommen (Fig. 14).

Während generell die Bonito- und Palermo-Formationen der Guata-Gruppe innerhalb Subsequenz 34 (? Unterperm) ziemlich starken Schwankungen in der Fazies ausgesetzt sind, die Bonito-Formation zum Teil jegliches Porenvolumen durch Kalzitisierung einbüßen kann (Porto Uniao Member, neuer Name, definiert für ein kalkreiches Glied der Rio-Bonito-Formation (PETROBRAS), siehe Fig. 16–17) und diese beiden sandigsiltigen Formationen fast überall mehr oder weniger kalkhaltig und tonig sind, so bildet der oberste Abschluss der Bonito-Formation in der Gegend von Tangara-Porto Uniao-Malle eine 10–20% Porosität aufweisende Sandsteinbank von 10–20 m Mächtigkeit, die fast überall im erwähnten Gebiet Spuren von Öl besitzt und bei Taquara Verde eine kräftige Gasshow aufweist. Dieser *Malle-Sandstein* (PETROBRAS) kommt denn auch als potenzieller Speicher am ehesten in Betracht. Im Osten ist er nachgewiesen von Torres bis Paraguaçu Paulista und im Westen von Marcellino Ramos bis Laranjeiras do Sul, doch sind die Shows (Gas, Fluoreszenzen, totes und migrierendes Öl) auf das Gebiet von Barra Nova, Tangara, Porto Uniao und Malle beschränkt.

Die stark versilteten und mit tonigen Einschaltungen und kalkig-kieseligen Konkretionen durchsetzten Sand- und Siltsteine der Einheiten 421 M, 421 L und 422 – vorwiegend Teresina-Formation und Rio-do-Rasto-Gruppe – sind allgemein schlechte Speichergesteine mit Ausnahme von Sandsteinen der *Morro Pelado-Formation*.

Ausgezeichnete Speicher befinden sich im *Botucatu-Sandstein* der Sequenz 5 (? Perm bis Trias), mit Porositäten bis zu 30% und Permeabilitäten bis zu 300 md. Zahlreiche Asphaltimprägnationen sind denn auch bekannt in dieser Formation aus der Gegend der Typlokalität im südlichen Sao Paulo.

Die der Sequenz 6 angehörenden Basalte kommen als Reservoirs, trotz zum Teil durch die Textur bedingter, guter Porosität nicht in Betracht, da sie keine Durchlässigkeit besitzen. Auch Sills kommen weder als Träger der Migration noch als Speicher in Betracht. Als Träger scheinen aber die *Salbänder* der genetisch an Brüche gebundenen Dykes zu wirken, wogegen die Dykes selbst wiederum als undurchlässig zu betrachten sind. Wir werden noch sehen, dass dem, in Bezug auf die Migration, eine besondere Bedeutung zugesprochen wird.

Zahlreiche *Brüche* kommen zudem ebenfalls als Träger in Betracht.

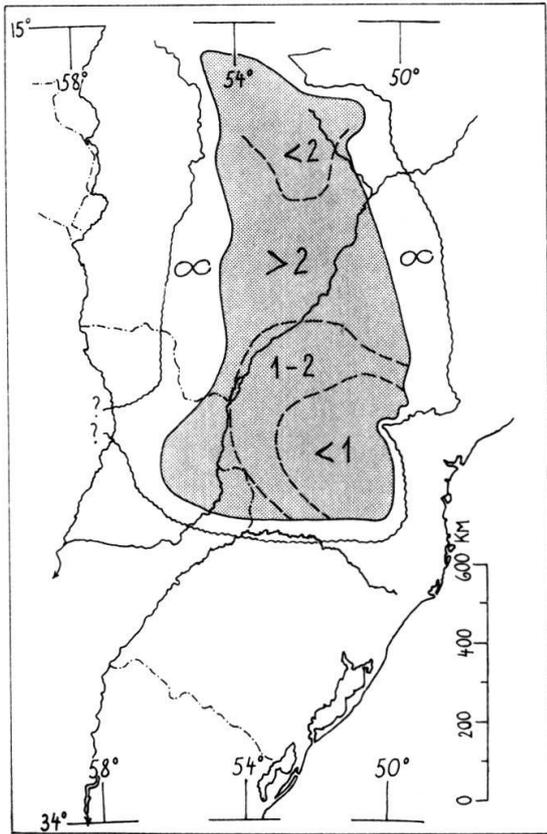


Fig. 14

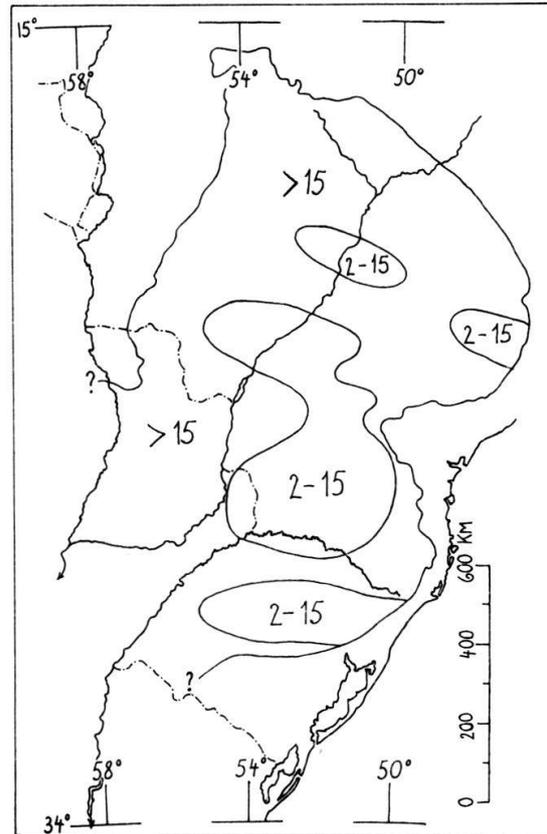


Fig. 15

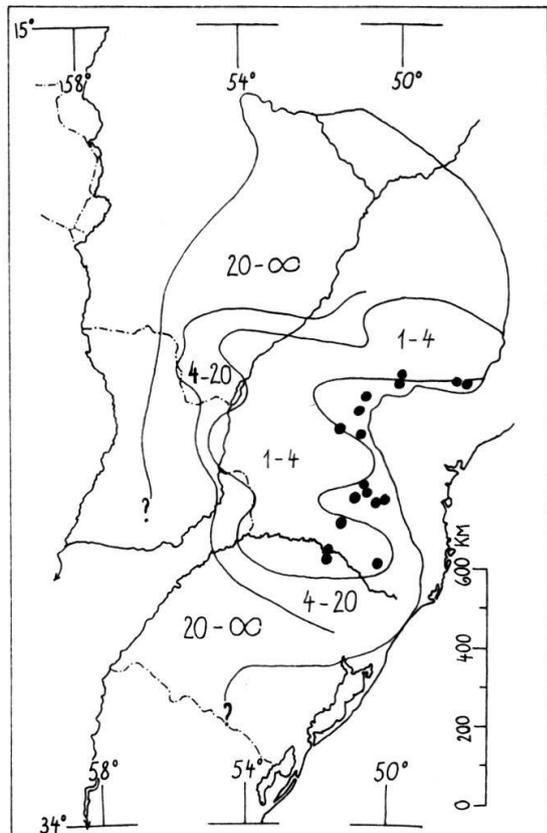


Fig. 16

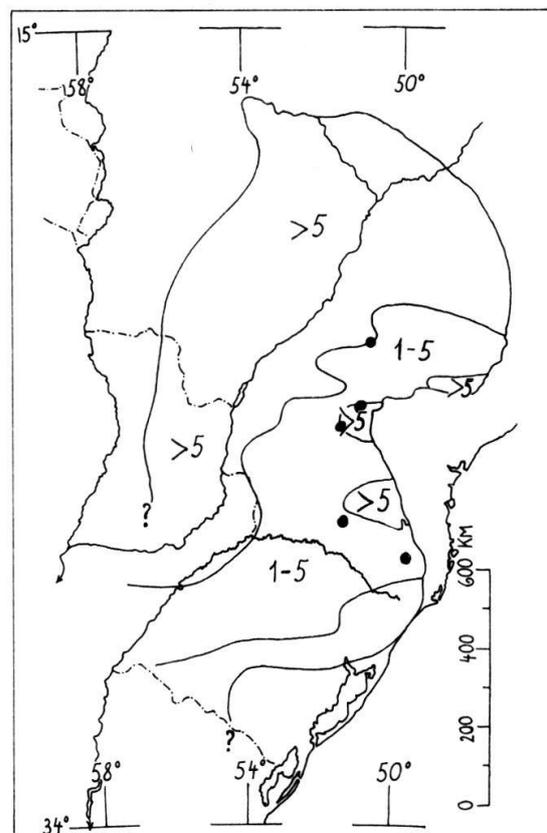


Fig. 17

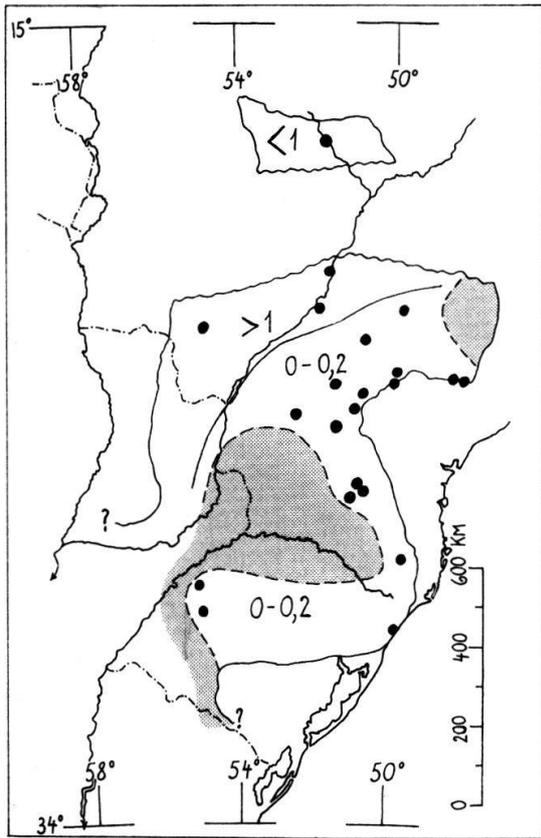


Fig. 18

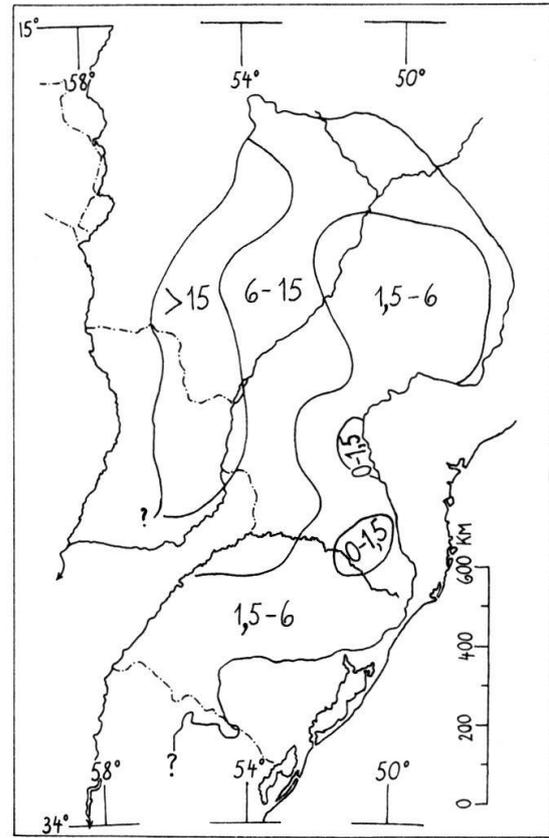


Fig. 19

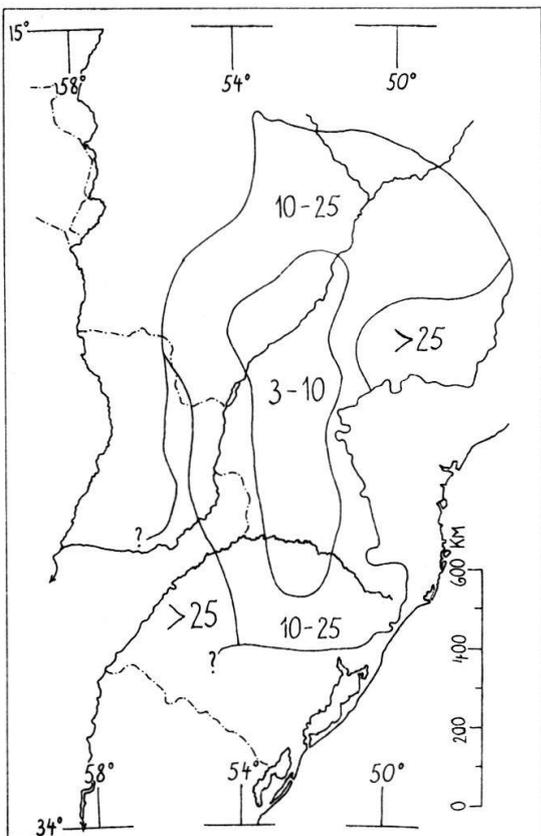


Fig. 20

Fig. 14-20: Sand-Shale Verhältnisse in den E-log Einheiten:

Fig. 14 Subsequenzen 21 und 22 kombiniert. Da das Sd-Sh-Verhältnis von Subsequenz 21 (farblos, mit Unendlichkeitssymbol) praktisch überall unendlich ist, wurde die darüber lagernde Subsequenz 22 (grau, mit Verhältnissymbolen) ebenfalls in dieselbe Karte eingezeichnet.

Fig. 15, Subsequenzen 31-33 als eine Einheit.

Fig. 16, Sektion 341 (ältere Untereinheit der Subsequenz 34). Die schwarzen Punkte bezeichnen die Verbreitung des kalkreichen Porto-Uniao-Gliedes der Bonito-Formation.

Fig. 17, Sektion 342 (jüngere Untereinheit der Subsequenz 34). Die schwarzen Punkte bezeichnen die Verbreitung des kalkreichen Porto-Uniao-Gliedes der Bonito-Formation.

Fig. 18, Subsequenz 41. Die schwarzen Punkte bezeichnen die Verbreitung des Rio-Claro-Kalkes, einem Glied der Irati-Formation. Die graue Fläche bezeichnet kalkfreie bis nur sehr spärlich Kalkführende Irati-Shales.

Fig. 19, Sektion 421.

Fig. 20, Sektion 422.

3. Vulkanismus und regionale Strukturen

Vulkanismus

Durch das im Abschnitt Stratigraphie erläuterte Vorgehen beim Korrelieren von Sills war es möglich, 90–95% aller Diabase als Sills zu bestimmen. Dadurch konnten die Sedimentmächtigkeiten etwas zuverlässiger geschätzt werden. Dabei zeigte sich, dass die auf Grund von Mächtigkeitsschwankungen in der Sedimentdecke eruierten Strukturen von den Sills akzentuiert wurden; d.h. die Diabase injizierten stets da, wo schon Strukturen vorhanden waren. Die heutigen Diabasstrukturen sind also zugleich Prädiabasstrukturen. MESNER & WOOLDRIDGE 1964 haben über ähnliche Phänomene im Maranhao-Becken eine abweichende Auffassung. Das mag zum Teil auf einer weniger dem stratigraphischen Aspekt des Sillproblems gewidmeten Arbeit beruhen.

Es darf wohl angenommen werden, dass beträchtliche Mächtigkeitsschwankungen innerhalb eines einzelnen Sills auf Schwankungen in der relativen Häufigkeit ihn speisender Dykes zurückzuführen sind. In dünnen E-log Einheiten, wie etwa in Subsequenz 41, in welche nur ein einziger, weithin verbreiteter Sill injizierte, wird nun durch dessen Mächtigkeitsschwankungen deutlich, welchen Strukturzügen die ihn speisenden Dykes gefolgt sind. Aus dem Einfluss der Sills auf die Isopachenkarten geht hervor, dass die Diabase ganz allgemein längs spätpermisch-triasischen Strukturen injizierten (Fig. 7, 9 und 10 zu vergleichen mit Fig. 25) und von da aus auch in früh- und vorpermische Strukturen gelangten, wo solche von den ersteren geschnitten wurden (Fig. 8 zu vergleichen mit Fig. 24).

Mächtigkeit und Ausdehnung der Sills scheinen vor allem von fünf Hauptfaktoren abhängig: 1. Dem hypothetischen Magma-Niveau, das entsprechend dem sich verändernden Magmendruck vertikal oszilliert und lateral migriert. 2. Dem Fallwinkel der injizierten Schichten. 3. Den durch das injizierte Sediment gegebenen, sedimentpetrographischen Faktoren. 4. Der relativen Häufigkeit der Dykes. 5. Der Zeitdauer der Aktivität eines bestimmten Magmendruckes.

Die mächtigen Sills in den devonischen bis permischen Schichtgliedern und das Vorkommen von Bentoniten im oberen Perm bei Sao Gabriel in Rio Grande do Sul (DELANEY & FORMOSA 1960) lassen vermuten, dass der Magmendruck allmählich von Mittel- bis Oberperm zunahm, dann eine Beschleunigung erfuhr, wobei die unzähligen Dykes bis zur Oberfläche gelangten und die Basalte während Trias und Jura ausflossen; alsdann sank der Magmendruck rapid ab.

Der grosse Anteil von 90–95% Sills an den Injektionen bedeutet natürlich keineswegs, dass nicht ein dichtes Netz von Dykes vorhanden war. Die meist nur wenige Zentimeter bis Meter mächtigen Dykes sind ausserordentlich zahlreich (im Terrain oft mehrere auf einen Kilometer). Aus dem Zusammenwirken von Sills und Dykes resultierte darum eine intensive Wabenbildung in den Sedimenten. In der erdölgeologischen Exploration des Paranabeckens bildet dieser *Spezialfall des Terrains* das bisher noch nicht genügend durchleuchtete Hauptproblem.

Regionale Strukturen

Die epirogenen Bewegungen, im allgemeinen von kleiner Amplitude im Paläozoikum, und von grösserer Amplitude im Übergang zum Mesozoikum und bis ins mittlere Mesozoikum, sind verantwortlich für die zum Teil recht komplizierten Faziesverhältnisse, vor allem im Karbon und Perm (Sequenzen 3 und 4).

Auf Grund der E-log Korrelation und der geologischen Karte wurden die folgenden, hauptsächlichsten Strukturzüge ermittelt:

- Spätsilurische (Fig. 21): 1 Pelotas-Torres-Hoch, 2 Lajes-Blumenau-Tief, 3 Alegrete-Campinas-Hoch, 4 Villarrica-Überlandia-Tief, 5 Aquidauana-Goiania-Hoch, 6 Corumbá-Tief.
- Früh- bis mitteldevonische (Fig. 22): Die faziellen Verhältnisse im früh- bis mitteldevonischen Paranabecken (7) suggerieren eine Nord-Süd verlaufende Hauptanlage des Beckens mit zwei dominierenden Depressionen, dem Mineiros-Becken im Norden (8) und dem Guarapuava-Becken im Süden (9).
- Spätdevonisch-unterkarbonische (Fig. 23): Abdrehen der Hauptstrukturzüge in eine dominierende WSW-ENE-Richtung, mit einem Hochgebiet im Süden (10) mit nachfolgend fehlender Subsequenz 31, und Depression im Norden (11) mit nachfolgend mächtiger Subsequenz 31.
- Pennsylvanisch-frühpermische (Fig. 24): Dominieren von Ost-West gerichteten Strukturen mit axialer Depression im zentralen Beckengebiet. Hauptstrukturen, aufgezählt von Süd nach Nord, sind: 12 Sao Gabriel, 13 Nördlich Torres, 14 Lajes, 15 Porto Uniao – Südlich Villarrica, 16 Candido de Abreu – Südlich Amambai, 17 Presidente Epitacio-Depression.
- Spätpermisch?-triasisch-jurassische (Fig. 25): Dominieren von SE-NW gerichteten Strukturen mit axialer Depression im zentralen Beckengebiet. Die positiven Hauptachsen sind: 18 Sao Gabriel – Asuncion, 19 Ponta Grossa – Camapua. Die Depressionsachsen sind: 20 Porto Alegre – Aquidauana, 21 Botucatu – Alto Garças, 22 Rio Uruguay – Rio Parana.

Für die sogenannte Lajes Intrusion im Karbon besteht bis heute kein eindeutiger Beweis, da keine Kontaktzone nachgewiesen ist und auch die Sand-Shale-Verhältnisse im Perm nichts von einer domartigen, periklinalen Struktur bei Lajes vermuten lassen. Lediglich die Bentonite von Sao Gabriel, eingeschaltet in die Passa-Dois-Serie über dem Irati-Shale deuten an, dass zu jener Zeit saure Extrusionen im Gebiete der Serra do Mar stattfanden.

Ponta Grossa und Rio-Grande-do-Sul-Bogen erscheinen als sehr komplexe paläozoisch-mesozoische Strukturen. Einerseits spiegelt die heutige, generelle Ausbisslinie der beiden Bogen die verhältnismässig grosse Amplitude der spätpermisch?-mesozoischen Epirogenese wieder, andererseits enthüllen die im Detail ausserordentlich komplizierten Intersektionen von Topographie und Lagerung der Schichten die zahlreichen, älteren Strukturen. Unter diesen sind die pennsylvanisch-frühpermischen dominierend.

4. Erdölmöglichkeiten

Die besondern Verhältnisse im Paranabecken erfordern eine mehr historische Darstellung der Erdölmöglichkeiten.

Für mögliche stratigraphische und stratigraphisch-strukturelle Erdölakkumulationen zur Zeit des Oberkarbons waren die Sand-Shale-Verhältnisse im Mitteldevon (Subsequenz 22) und die räumliche Verteilung der Ponta-Grossa-Fazies massgebend, da sowohl im Unterdevon (Subsequenz 21) als auch im Oberkarbon (Subsequenz 31 und frühe Anteile der Subsequenz 32) keine Mutterformationen vorkamen. Die Sand-Shale-Verhältnisse im mittleren Devon lassen drei Gebiete abgrenzen (Fig. 14): a) 75 000 km² mit Sd/Sh < 1. b) 100 000 km² mit Sd/Sh zwischen 1 und 2 und < 2. c) 175–325 000 km² mit Sd/Sh > 2.

- Terrain a:) Die Möglichkeiten von Akkumulationen innerhalb von Subsequenz 22

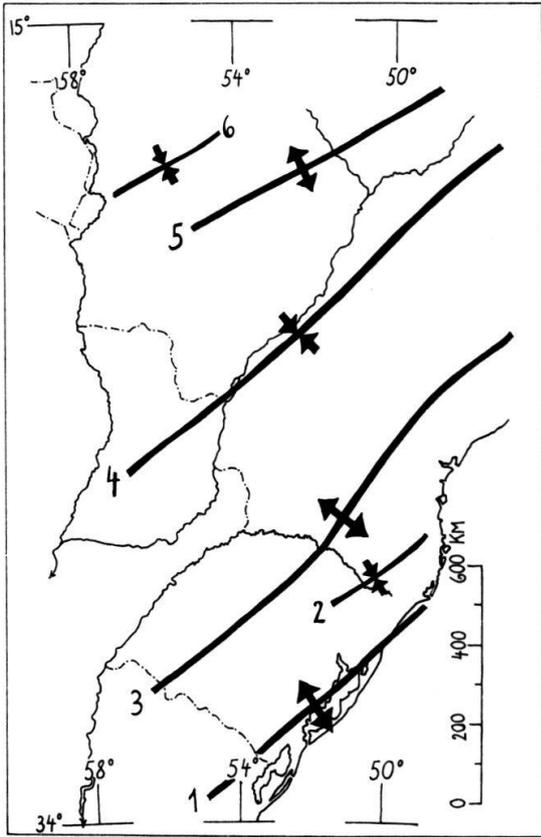


Fig. 21

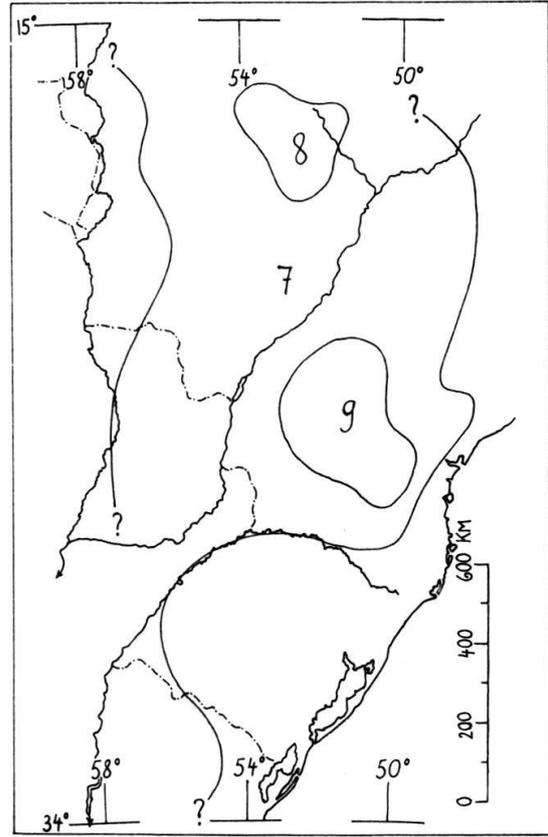


Fig. 22

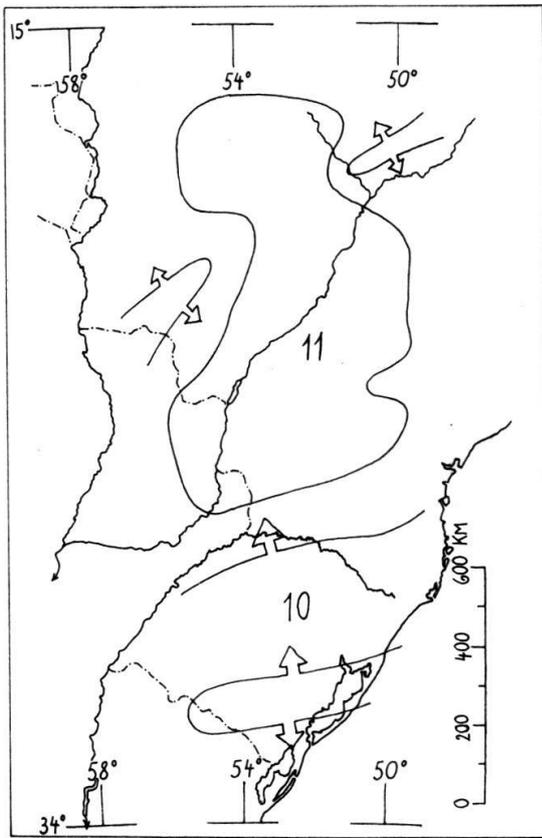


Fig. 23

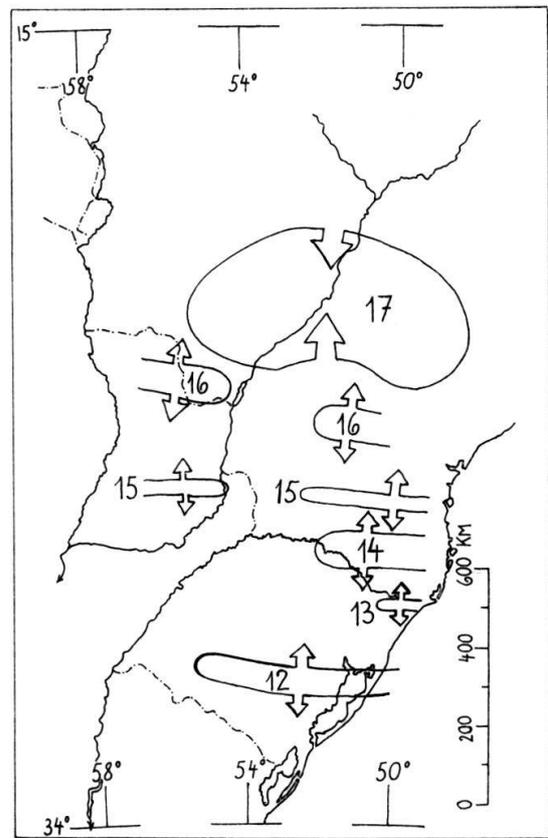


Fig. 24

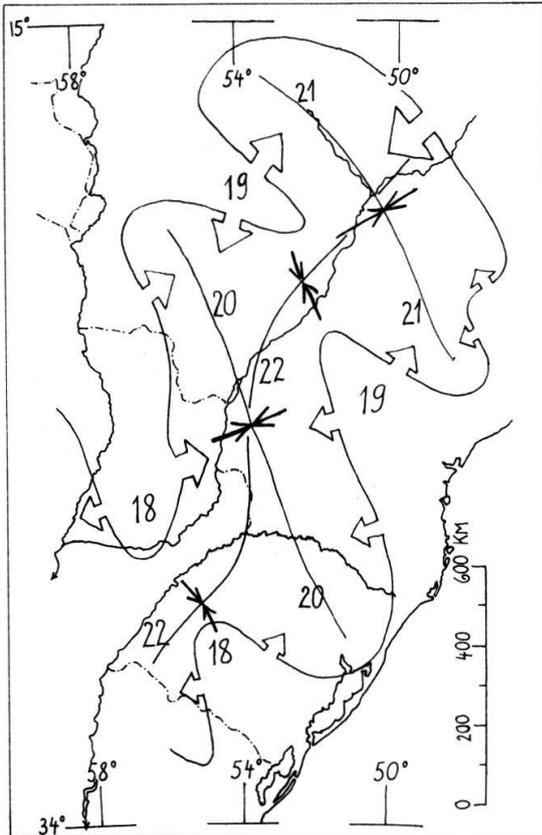


Fig. 25

Fig. 21–25: Hauptsächlichste Paläostrukturzüge. Für die Benennung der einzelnen Strukturen siehe im Text unter der angegebenen Nummer.

Fig. 21: Spätsilurische Strukturzüge.

Fig. 22: Vermutliche Differenzierung des Parana-beckens in Teilbecken im Devon.

Fig. 23: Spätdevonisch-unterkarbonische Struktur-anlagen.

Fig. 24: Oberkarbonisch-frühpermische Struktur-anlagen. Die Symbole stehen für relativ gehobene und relativ abgesenkte Gebiete, die, wohl durch normale Bruchsysteme begrenzt und zerschnitten, eine embryonale Horst-Graben Tektonik aufweisen.

Fig. 25: Spätpermisch?-triasisch-jurassische Struktur-anlagen zeigen die sich kreuzenden axialen Depres-sionen (Linien mit Synklinalensymbolen) des späten Perms (Fig. 11), der Permo?-Trias (Fig. 12) und des Juras (Fig. 13). Epirogene Hauptphase des Ponta-Grossa- und Rio-Grande-do-Sul-Bogens.

waren von Anfang an gering, dagegen waren sie in stratigraphisch-strukturellen Fallen der Subsequenz 21 in positiven, in den Subsequenzen 31–32 in negativen Blöcken gegeben. Reine stratigraphische, und kombinierte stratigraphisch-strukturelle Fallen waren vor allem an der Basis von Subsequenz 31, über der devonisch-karbonischen Diskordanz, gegeben.

Diese apriori günstigen Verhältnisse wurden nun aber beeinträchtigt durch Erdöl-bildungs- und -migrationsvorgänge während der oberdevon-unterkarbonen Erosions-phase über eine Zeitdauer von maximal 20–25 Millionen Jahren. Nach WELTE 1964 können sich die Bildungsprozesse für Erdöl über sehr viel weitere Zeiträume erstrecken, was ganz von den für die Erdölbildung erforderlichen Temperaturen, Drucken und der Zeit ihrer Einwirkung auf die Mutterformationen abhängt. Es besteht aber kaum Zweifel, dass die zu Ende des Devons vorhandenen Mächtigkeiten an Ponta-Grossa-Shales in Terrain a), von denen bei Apucarana noch immer 650 m erhalten geblieben sind, genügten, um die für die Erdölbildung nötigen Drucke und Temperaturen schon vor dem Eintritt der Erosion zu erzeugen. Man darf darum annehmen, dass Erdölbildung und Migration in grossem Ausmass schon vor der Erosionsphase stattfand und während dieser andauerte. Migration zur unterkarbonen Oberfläche, natürliche Entleerung untief gelegener Erdölfelder durch Erosion und Flutung durch mete-orische Wässer von weiteren, durch die Erosion nicht mehr erreichten Akkumulationen war die Folge, deren Ausmass wir aber einstweilen nicht abschätzen können.

- Terrain b): Akkumulationen stratigraphischer und stratigraphisch-struktureller Art waren zur Zeit des Oberkarbons im Devon und im Oberkarbon möglich. Durch Verdünnung des mittleren Devons einerseits und der Verschlechterung der Sand-Shale-

Verhältnisse andererseits waren aber die Chancen für Akkumulationen in Terrain b) bereits wesentlich geringer als in Terrain a).

- Terrain c): Als Folge der nur noch wenige Meter betragenden Mächtigkeit der Ponta-Grossa-Shales und unregelmässigen Verbreitung waren die Erdölmöglichkeiten in diesem Gebiet zur Zeit des Oberkarbons gleich Null.

Aus den Sand-Shale-Verhältnissen des Perms, also von Subsequenz 32 bis Top Sequenz 4 (Fig. 15–20), ist eine stetige Zunahme des Sandgehaltes von Osten nach Westen ersichtlich. Es ist darum nicht von ungefähr, dass die Öl- und Asphaltseeps, wie auch die besten Ölzeichen in Bohrungen, in permischen und triasischen Schichten, auf breiten, sich mehr oder weniger deckenden Streifen am Ostrand des Paranabeckens liegen. Was den Oberflächenstreifen der Seeps betrifft, so schneidet er, von der Gegend um Botucatu in südwestlicher Richtung nach Tangara-Caçador sich erstreckend, die Isopen des Devons und die Strukturlinien des durch die mesozoische Epirogenese akzentuierten Ponta-Grossa-Bogens. Daraus kann für Akkumulationen in Perm und Trias gefolgert werden:

- Ausserhalb vom Verbreitungsgebiet von Mitteldevon gelegene Ölseeps können nicht durch Migration aus den Ponta-Grossa-Shales entstanden sein.
- Die Bildung und Migration von Öl aus permischen Mutterformationen hat schon vor der triasisch-jurassischen Basaltextusion zu Akkumulationen in Perm und Trias geführt, die ungefähr im Streifen der heutigen Seeps gelegen haben müssen. Anders sind gewisse Öleinschlüsse in Hohlräumen undurchlässiger Laven kaum erklärbar.
- Die an sich undurchlässigen Laven stellen kein Hindernis für die natürliche Entleerung der Lagerstätten dar, indem die sie durchziehenden Brüche als Carrier wirken. Die Seeps sind somit die besten Hinweise über die noch heute mögliche Hauptverbreitung primärer und sekundärer Lagerstätten in Perm und Trias.
- Zu welchen Proportionen aus den Ponta-Grossa-Shales oder den Passinho-Irati-Serra-Alta-Shales migrierte Öle in jenen Seeps enthalten sind, die sowohl über dem Subcrop und Ausbiss des Permokarbons, als auch über dem Subcrop des Mitteldevons liegen, kann ohne vergleichende Analysen über die chemischen Zusammenhänge von primär-bituminösen Shales, Shows und Seeps, nicht gesagt werden.

Zwischen die grossen Migrationsphasen in Oberdevon-Unterkarbon und Oberperm-Trias und der heute andauernden Depletionsphase fällt nun der Einfluss der spätpermisch-triasisch-jurassischen Diabas-Injektionen und Basalt-Extrusionen. Eine Arbeitshypothese, um der Ermittlung dieses weitgehend noch unbekanntes Einflusses nachzugehen, sei hier zur Diskussion gestellt. Die undurchlässigen Dykes, Sills und Laven verursachten ein die Sedimente durchsetzendes und nach oben abschliessendes Wabengebilde aus undurchlässigen oder nahezu undurchlässigen Membranen, was die laterale Migration behinderte. Durch zum Teil poröse Salbänder an Brüchen gebundener Dykes und vor allem durch postvulkanische Brüche, wurde aber die vertikale Migration aufrecht erhalten. Die Folge davon war, dass weitere und erneute Akkumulation in grösserem Ausmass über die dem Vulkanismus folgenden Zeiträume hinweg verunmöglicht wurde, oder doch stark unterbunden blieb, während über denselben Zeitraum hinweg die Depletion ungehindert ihren Fortgang nahm.

5. Folgerungen

Aus der stratigraphischen Verteilung und der räumlichen Beziehung von Muttergesteinen und Speichern, und aus den in sie eingestreuten bituminösen Imprägnationen,

Shows und Seeps, lässt sich ableiten, dass das Paranabecken faziell und strukturell günstige Situationen für Erdölbildung, Migration und Akkumulation gekannt hat. Es haben hauptsächlich zwei Ölbildungs- und -migrationsphasen stattgefunden: Eine vor und zur Zeit der oberdevonisch-unterkarbonen Erosion und eine solche beginnend in Oberperm bis Trias.

Der mesozoische Vulkanismus vereitelt es nun aber, trotz faziell günstiger Voraussetzungen, die Chancen der Erdölexploration im Paranabecken verbindlich zu beurteilen, solange das zentrale Problem des Einflusses des Vulkanismus und Subvulkanismus auf die Migration und Hydrodynamik in diesem Becken nicht abgeklärt ist.

Sollte sich die in diesem Aufsatz geäußerte Hypothese bestätigen, wonach die Extrusionen und Injektionen der triasisch-jurassischen, basischen Eruptiva, die laterale Migration beeinträchtigt haben könnten, während gleichzeitig die vertikale weiterhin normal funktionierte, so muss ganz allgemein mit fortgeschrittener Depletion im Paranabecken gerechnet werden.

Literaturverzeichnis

- DELANEY, P. & FORMOSA, M.: Ocorrência de uma chamada Bentonita no município de Sao Gabriel, Rio Grande do Sul. Ministerio da Educação e Cultura, Esc. Geol. P. Alegre, Bol. No. 2, 1960.
- MESNER, J. & WOOLDRIDGE, P.: Maranhao Paleozoic Basin and Cretaceous coastal basins, North Brasil. Bull. AAPG, Vol. 48, Sept. 1964, Nr. 9.
- OLIVEIRA, A. I.: Handbook of South American Geology, Brasil pp 5-62. The geol. Soc. of America, Memoir 65. June 1956.
- PETROBRAS S.A.: Interne Rapporte der Geologen BAUER, DÄMON, LANGE, LEVORSEN, LINK, LINSSER, LOSCY, MAYER, MÜLLER, PONCIANO, PUTZER, QUEIROZ, RÜEFLI, SANFORD, TIBANA.
- RÜEFLI, W.: Zur Erdölgeologie des Küstenbeckens von Sergipe-Alagoas, Brasilien. Bull. Ver. Schweiz. Petr. Geol. und -Ing., Vol. 32, April 1966, Nr. 83.
- SANFORD, R. & LANGE, F.: Basin-Study approach to oil evaluation of Parana Miogeosyncline of South Brasil. Bull. AAPG, Vol. 44, Nr. 8, Aug. 1960.
- WELTE, D.: Über die Beziehungen zwischen Erdölen und Erdölmuttergesteinen. Erdöl und Kohle, 17. Jg., Juni 1964, Nr. 6.

