

Die Geologie und die Salzdome im südwestlichen Teile des persischen Golfes.

Von **R. K. Richardson**, Ph. D., A. R. C. Sc.

Mit Tafel IX—XIII.

I. Vorwort.

Die Feldarbeiten, deren Ergebnisse im Folgenden niedergelegt sind, wurden im Gebiete des persischen Golfes während des Winters 1921—1922 ausgeführt. Es sind Teilergebnisse, die im Zusammenhang mit anderen Aufgaben gewonnen wurden, welche der Verfasser im Auftrage der Anglo-Persian Oil Co. vornahm.

Die Ausarbeitung erfolgte unter der freundlichen Anleitung von Herrn Geh. Hofrat Prof. Dr. W. Salomon-Calvi im geologisch-palaeontologischen Institute der Universität Heidelberg. Es sei mir an dieser Stelle gestattet, Herrn Geh. Hofrat Prof. Dr. W. Salomon-Calvi für sein stetes Interesse und gütiges Entgegenkommen meinen herzlichsten Dank aussprechen zu dürfen. Ferner möchte ich mit Dankbarkeit der Hilfe gedenken, welche ich durch die Angehörigen des hiesigen Institutes erfuhr.

Das Tatsachenmaterial wurde in Gutachten und Arbeitsberichten an die Anglo-Persian Oil Co. vom Verfasser niedergelegt. Hierin findet sich auch die palaeontologische Bearbeitung des vom Verfasser gesammelten Fossilienmaterials (aus den Gebieten des persischen Golfes sowie aus anderen Teilen Persiens), welche durch Herrn Dr. Douglas-Oxford vorgenommen wurde.

Ich schulde meinem Vorgesetzten, Herrn S. Lister James, sowie der Gesellschaft herzlichsten Dank für die liebenswürdig erteilte Genehmigung, Gebrauch von diesen Akten machen zu dürfen. Die großzügige Einstellung der Gesellschaft, wissenschaftlich interessante Ergebnisse veröffentlichen zu lassen, welche ja auf ihre Kosten und unter ihrer Anleitung gewonnen werden konnten, verdient ganz besonders hervorgehoben zu werden.

Ich darf noch bemerken, daß meine in dieser Arbeit vertretenen Anschauungen nicht als identisch mit denen der Gesellschaft oder meiner Kollegen darin aufgefaßt werden dürfen.

Ich muß ferner noch an dieser Stelle der tätigen Unterstützung gedenken, welche ich durch meinen Assistenten, Herrn Seymour Walker, während der Arbeiten im Felde erfuhr. Dankbar erkenne ich die Arbeiten meiner Kollegen in der Anglo-Persian Oil Co. an, welche die ersten Aufnahmearbeiten in diesen Gebieten vor meinem Hinkommen ausführten. In dem Abschnitt über die geschichtliche Entwicklung der in der Golfregion ausgeführten Untersuchungen werden deren Arbeiten noch ausführlich behandelt. Ich verwendete die englische Schreibweise der Namen, da die Literatur über das Gebiet bisher fast ausschließlich englisch ist. Den Ausdruck „series“ habe ich auf Veranlassung von Prof. Salomon-Calvi meist mit „Reihe“, manchmal auch mit „Gruppe“ übersetzt.

II. Überblick über die bisherigen Arbeiten im Gebiete des persischen Golfes.

Bis jetzt gibt es nur sehr wenig Literatur, die sich mit der Geologie des persischen Golfes beschäftigt. Die Gegend ist öde und ungestaltlich; das Hinterland von primitiven Stämmen bewohnt, die gegen Fremde oft feindlich gesinnt sind. Infolgedessen haben nur wenige Reisende diese Gegenden besucht, bevor die Anglo-Persian Oil Co. sich hier festgesetzt hatte. Die erschienene, brauchbare Literatur besteht hauptsächlich aus Einzelbeobachtungen von Carter (1859), Blanford (1873) und der Arbeit von Pilgrim (1908). Besonders über die letztere Arbeit soll hier einiges gesagt werden. Sie ist ein allgemeiner Bericht über die Geologie der Golfregion und enthält viele Beobachtungen; aber vieles darin ist heute überholt und das ganze Werk bedarf einer gründlichen neuen Überarbeitung. Auf einige Punkte möge kurz hingewiesen sein. Die Erklärung, welche z. B. Pilgrim von der Entstehung der miozänen Gipse der unteren Fars-Reihe gibt, muß abgelehnt werden. Diese Ablagerungen sind nicht das Ergebnis der von Pilgrim vermuteten chemischen Vorgänge im Meere, sondern sie sind infolge von Verdunstung in seichten, über weite Gebiete sich erstreckenden, langsam eintrocknenden Seen entstanden. Desgleichen ist die Altersangabe Pilgrims von dem oberkretazischen bis eozänen Alter der Hormuz-Reihe nicht zutreffend, da sie vor-oberkretazisch ist. Ferner erkannte Pilgrim weder die Stellung noch

den Charakter der Hormuz-Reihe, mit anderen Worten: er erkannte nicht die Natur der Salzstöcke als „Aufbrüche“ in der Golfregion. Pilgrim besuchte später (1917) nochmals das Gebiet und änderte dann seine Anschauungen dahin, daß die Hormuz-Reihe mindestens praeoberkretazisch sei (nach privaten Mitteilungen aus dritter Hand, welche ich erhielt). Kürzlich (Juni 1926) erfuhr ich, daß Pilgrim im vergangenen Jahre (1925) in den „Memoirs of the Geol. Survey of India, Calcutta“ neuere Arbeiten über die Geologie Persiens veröffentlichte. Es war mir aber unmöglich, diese Arbeit hier in Heidelberg zu erlangen, und sie konnte mir auf Anfrage weder vom India Office (London), dem Inst. of Petroleum Technologist (London), noch durch andere Stellen besorgt werden.

In privatem Auftrage arbeiteten ferner im Jahre 1914 James und Dewhurst über die Geologie der Kishm-Insel und etwas später auch H. G. Busk und H. T. Mayo. Das Werk von James und Halse stellt den wichtigsten Beitrag zur Geologie der Golfregion dar. Seine ausgezeichnete geologische Karte ist auch meiner Arbeit beigelegt. James und Halse kartierten im Jahre 1917 das benachbarte Festland (siehe die geologische Karte). Auf Grund aller dieser Untersuchungen wurde in Gesprächen eine lebhafte Diskussion über die Tektonik des Gebietes geführt. Prof. Sir Thomas Holland in London, der an den Diskussionen regen Anteil nahm, vermutete, daß das Auftreten des Salzes am persischen Golfe anscheinend Ähnlichkeit mit den Salzstöcken Transylvaniens habe. Indessen wurde diese Vermutung nicht genügend beachtet und die Frage nach der wahren Natur und den Lagerungsbeziehungen der Hormuz-Reihe blieben offen.

Unterstützt von Herrn W. S. Walker beschäftigte sich der Verfasser in den Jahren 1921—1922 in der Golfregion:

a) mit einer genauen Untersuchung und Beschreibung der Schichtenfolge im persischen Golfe,

b) mit der Klarstellung der wahren Beziehungen und des Alters der einzelnen Schichten und mit der Herstellung sehr genauer geologischer Profile,

c) mit dem Nachweis, daß das Auftreten der Hormuz-Reihe durch Salzaufbrüche in jüngeren Schichten bedingt ist und daß diese Aufbrüche alle Erscheinungen der bekannten Salzhorste aufweisen.

III. Die geographische Lage, das Klima und die Topographie des untersuchten Gebietes.

Das untersuchte Gebiet liegt annähernd zwischen $54\frac{1}{2}$ bis $56\frac{1}{2}^0$ östlicher Länge und $26\frac{1}{2}$ — $27\frac{1}{2}^0$ nördlicher Breite und setzt sich aus einem Teil des persischen Festlandes und einigen Inseln des persischen Golfes zusammen.

Es dehnt sich im Osten des persischen Golfes aus, wo dieser durch die Halbinsel Mussandan eingeengt wird, um sich dann in den Golf von Oman zu verbreitern.

Während des Winters ist das Klima gemäßigt und angenehm, während im Sommer eine große Hitze, verbunden mit großer Luftfeuchtigkeit herrscht.

Mit Ausnahme von Palmengruppen in der Umgebung von Dörfern, von zerstreuten Kakteen und Dornbüschen ist das Land sonst vegetationslos. Wasser ist schwer erhältlich; und die geringen Mengen werden sorgfältig in oberflächlichen Sammelbehältern bewahrt (von den Eingeborenen „Birkehs“ genannt).

Die Gegend ist von wenigen Arabern und Persern bewohnt, welche hauptsächlich Maultiertreiber, Perlenfischer und kleine Händler sind. Es gibt weder Wege noch Eisenbahnen; und die einzige Reisemöglichkeiten sind im Tiefland das Kamel und im Gebirge Maultier und Esel.

Vom geologischen Standpunkte aus ist das gänzliche Fehlen der Vegetation ein großer Vorzug; denn Aufbau und Schichtenfolge treten in vollendeter Klarheit hervor.

Das Gebiet läßt sich in zwei natürliche Landschaften gliedern, nämlich die niedrige Sandwüste und die unfruchtbaren Hügelketten. Die letzteren streichen gewöhnlich in O—W, oder ONO—WSW-Richtung, was der Streichrichtung der Faltenzüge in diesem Gebiete entspricht. Es sind nur wenig Wasserläufe vorhanden, die zudem, mit Ausnahme von einigen Tagen nach starken Regengüssen, immer trocken sind.

Die Formen der Hügelketten besitzen durch steile Felswände und tiefe Schluchten ein wildes und rauhes Aussehen.

An Stellen, wo Salzaufbrüche die hangenden Schichten durchbrochen haben, sind die Geländeformen sehr abwechslungsreich und schroff. Viele solcher Gegenden sind beinahe ungangbar, hauptsächlich sind aber die zentralen Teile großer Salzhorste unpassierbar; die übrigen Teile können nur zu Fuß und mit vielem Klettern erreicht werden.

IV. Einführende Bemerkungen zur Stratigraphie.

Die nun zu beschreibende geologische Schichtfolge im persischen Golfe, die von mir eingehend untersucht wurde, besteht aus zwei Hauptabteilungen. Die jüngere Abteilung setzt sich aus Schichten von bekanntem geologischem Alter zusammen, nämlich aus Schichten der oberen Kreide bis zum Quartär. Es ist eine vollständige Schichtfolge, die eine reiche und charakteristische Fauna enthält. Die ältere Abteilung besteht aus der Hormuz-Reihe und einer willkürlich abgegrenzten Reihe, der sogen. Khamir-Gruppe, welche Gesteine verschiedensten Alters umfaßt. Weder frühere Bearbeiter des Gebietes noch ich selbst fanden Fossilien, die das Alter der Hormuz-Reihe anzeigen und wir können nur sagen, daß sie älter als die Oberkreide ist.

Da eine ausführliche Beschreibung der Schichtfolge mitgeteilt werden soll, erscheint es zweckmäßig im Voraus einen kurzen Überblick zu geben, welcher die späteren Ausführungen erleichtert.

Quartär.

Alluvium: Sand und feinsten Tonsand.

Tersai-Reihe: grobkörnige, leicht zerreibliche Sandsteine, Lumachellenkalke, Konglomerate und wenig verkittete Gerölllagen. Etwa 100—150 m Mächtigkeit.

Tertiär.

Neogen (Fars-Reihe).

1. Obere Farsschichten: Sandsteine, Lumachellenkalke mit eingeschalteten grünlichen Mergeln und meist sandigen Tonen. Etwa 1000 m Mächtigkeit.

2. Mittlere Farsschichten: Lumachellenkalke, Mergel und rötliche, tonige Schichten (meistens mergelig und tonig). Etwa 200 m Mächtigkeit.

3. Untere Farsschichten: Hauptsächlich massiger, weißer Gips. 450 m Mächtigkeit.

Oligozän: (Khamir-Kalk), massiger, dichter, sehr fossilreicher Nummulitenkalk von etwa 200 m Mächtigkeit.

Eozän: (Khamir-Mergel) und Tone von 650 m Mächtigkeit.

a) **Obere Gruppe:** (Micropsis-Schiefer), bläulichgrüne und rötlichblaue Schiefer von 150 m Mächtigkeit.

b) **Untere Gruppe:** Graugrüne Mergel und mergelige Kalke mit einigen Nummuliten-führenden Schichten. 500 m Mächtigkeit.

Kreide.

Obere Kreide: 370 m sind beobachtet, während die Basis der Schichtenfolge nicht festgestellt werden konnte. Harte, graubraune Kalke, die in den oberen Abteilungen viele Rudisten enthalten und unten aus blaßbraunem Kalk besteht.

Tektonische Grenze.

Intrusivgesteine, aufgedrungen nach der Bildung der Hormuz-Reihe.

Holokristalline Gesteine von saurer und intermediärer chemischer Zusammensetzung, Hornblendegranite, Syenite und Quarzdiorite, die in die Hormuz-Reihe eindrangen.

Hormuz-Gruppe.

1. Die obere oder die Gips- und Erstarrungsgesteine-führende Gruppe.

Hauptsächlich Gips mit Ergußgesteinen, Tuffen und Agglomeraten, ferner Kalke und Sandsteine an der obersten Grenze.

2. Die mittlere oder die dolomitisch-anhydritische Gruppe.

Hauptsächlich zelliger dolomitischer Kalk mit Anhydrit und etwas Gips.

3. Die untere oder die Salzgruppe.
Geschichtetes Salz.

Khamir-Gruppe.

Kristalline Schiefer, dunkle, bläuliche Kalksteine, schwarze und weiße kristalline Kalke, Stinkkalke u. a.

Die genauen Beziehungen zwischen den einzelnen diesen Komplex aufbauenden Gliedern sind noch ungeklärt. Vielleicht gehören einige Teile überhaupt der Hormuz-Reihe an; dann wären, wie noch ausgeführt wird, die kristallinen Schiefer, Gneise und kristallinen Kalke infolge tektonischer Komplikationen bei

der Hutbildung* vom Salz emporgebracht. Es wird ja wohl Niemand zweifeln, daß die kristallinen Gesteine älter als die Hormuz-Reihe sind und ursprünglich ihre Unterlage darstellten.

V. Stratigraphie.

Vergl. Taf. X [II].

1. Die Khamir-Gruppe.

Die Gruppe, auf welche die Bezeichnung „Khamir-Gruppe“ angewendet wird, stellt eine merkwürdige Vergesellschaftung verschiedenster Gesteine dar, welche auf dem persischen Festland etwa 8—10 km westlich des kleinen Fischerdorfes Khamir auftreten. Sie werden zuerst beschrieben, da sie die ältesten Gesteine darstellen, älter als der durch Fossilien sicher bestimmbare Rudistenkalk. Indessen sind die Beziehungen zu der Hormuz-Reihe oder der Oman-Reihe (Pilgrim 1908) noch nicht geklärt. Von der Hormuz-Reihe unterscheidet sich der in Rede gestellte Schichtkomplex durch das Fehlen von Salz und Gips und durch das Auftreten von metamorphen Schiefen und Gneisen. Andererseits finden sich schwarze Stinkkalke darin, welche mit schwarzen Kalken der Umgebung von Hamairan und Al Buza übereinzustimmen scheinen und hier zusammen mit Sandsteinen im oberen Teil der Hormuz-Reihe auftreten. Jedoch hätte das Fehlen von Salz und Gips nichts zu bedeuten, da diese später bei der starken Denudation in diesem Gebiet zerstört werden konnten.

Das Gebiet, welches durch das Vorkommen der Khamir-Gruppe eingenommen wird, ist nicht groß, aber die Beziehungen der Gesteine untereinander können teils infolge der sehr zerstreuten Vorkommen, teils infolge alluvialer Bedeckung endgültig noch nicht angegeben werden.

Die Vorkommen stellen zahlreiche kleine Hügel dar, welche aus sehr verschiedenartigen Gesteinen in sehr wechselnder Lagerung bestehen.

Es treten Kalksteine auf, wie sie weder aus dem Rudistenkalk noch aus jüngeren Schichten bekannt sind. Ferner finden sich metamorphe Schiefer, Gneise, weiße und schwarze kristalline Kalke, schwarze Stinkkalke und dunkle gebankte Kalke. In diesen Schichten sind Teile des Rudistenkalkes und graue Rhyolithe teils eingefaltet, teils zerstückelt und eingebrochen. Einer der größten Hügel besteht fast ganz aus dickbankigen

steilgestellten, vorwiegend schwarzen und bläulichen, seltener schmutzig-grauen Kalken.

Was die Beziehung zu der Oman-Reihe anlangt, so schreibt Pilgrim (1908) von letzterer: „the rocks consist for the most part of limestones which are generally siliceous: some of these limestones are quite massive and do not appear to have undergone any particular crushing: these vary in colour from dark blue almost black to a pale grey.“ Diese Beschreibung legt einen Vergleich mit den gebankten Kalken der Khamir-Gruppe nahe.

Ein anderer kleinerer Hügel ist aus metamorphen Schiefen und Gneisen zusammengesetzt. Sie bestehen, wie die mikroskopische Untersuchung ergab, vorwiegend aus Quarz und Hornblende, untergeordnet treten Glimmer und Feldspäte hinzu. Die Schieferung ist sehr ausgeprägt.

Der weiße kristalline Kalkstein ist sehr rein, er zeigt u. d. M. nichts besonderes.

Die weißen kristallinen Kalke, die metamorphen Schiefer und Gneise weisen nicht auf Pilgrim's Oman-Reihe hin; indessen besitzen sie teilweise Gemeinsames mit seiner ebenfalls metamorphen Hatat-Reihe. Andererseits erscheinen, wie schon erwähnt, die schwarzen Stinkkalke identisch mit solchen der oberen Abteilung der Hormuz-Reihe bei Al Buza. Diese Tatsache und weiter das Auftreten der grauen Rhyolithe, welche denen der Hormuz-Reihe bei Khamir ähnlich sind, dann die darin eingefalteten und eingebrochenen Massen von Rudistenkalk weisen auf die Zugehörigkeit zu der Hormuz-Reihe in der Nähe von Khamir hin.

Das Auftreten dieser so merkwürdigen Gesteinsvergesellschaftung läßt einen direkten oder indirekten Zusammenhang mit den Salzaufbrüchen von Khamir vermuten. Indessen kann dies infolge der Bedeckung des Gebietes durch alluviale Aufschüttung nicht bewiesen werden.

2. Die Hormuz-Reihe.

Die Bezeichnung „Hormuz-Reihe“ wurde von Pilgrim (1908) für verschiedene Schichten aufgestellt. Der im Folgenden als „Hormuz-Reihe“ beschriebene Komplex umfaßt eine sehr mächtige und äußerst verschiedenartige Schichtfolge von größtem Interesse. Sie tritt ausschließlich in der Umgebung der Salzhorste auf; und nirgends konnten bisher in den von mir

untersuchten Gebieten die tieferen Teile dieser Reihe oder gar ihr Liegendes aufgefunden werden.

Die ältesten Schichten, welche die Hormuz-Reihe in den Salzhorsten durchstößt, ist der Rudistenkalk; es muß also die Hormuz-Reihe mindestens praeoberkretazischen, vielleicht sehr viel höheren Alters sein. Pilgrim (1908) dagegen betrachtet sie als Oberkreide-Eozän, was verständlich ist, da er ja noch nicht mit der Anwesenheit von Salzhorsten rechnete.

Die Reihe enthält Präzipitatgesteine wie Salz, Gips und Anhydrit, ferner dolomitische Kalksteine und Schiefer, schwarze kristalline Kalke, braunschwarze Kalke, dunkle Stinkkalke, lederfarbene, hellrote bis purpurrote Sandsteine, saure und metabasische Ergußgesteine, vielfarbige vulkanische Tuffe, Breschen und Agglomerate. Lokal treten Schwefel und Eisenvorkommen auf, oft reich genug, um ausgebeutet werden zu können. Diese letzteren Vorkommen sind ausschließlich auf den Gips- und Ergußgesteine-führenden Teil der Hormuz-Reihe beschränkt. Außerdem finden sich in der Hormuz-Reihe Intrusivgesteine (Diorite und Syenite).

Überall tritt der oberste Teil der Hormuz-Reihe (die Gips- und Ergußgesteine-führende Abteilung) in steiler, senkrechter oder überkippter Lagerung auf und bildet den Rand des zentralen Teiles im Salzaufbruch. Diese Grenze der Hormuz-Reihe gegen die jüngeren Schichten, gleichviel welcher Art, ist stets tektonisch.

Obwohl also dieser ganze Schichtkomplex in sich so sehr verschiedenartig ist, so bildet er gewissermaßen doch eine geologische Einheit; und trotz der Mannigfaltigkeit, welche die Einzelteile in den verschiedenen Salzaufbrüchen aufweisen, wurden sie niemals in Verbindung mit andersaltrigen oder andersartigen Schichten gefunden.

In der Hormuz-Reihe können drei Abteilungen unterschieden werden:

c) Obere Abteilung oder die Hormuz, Gips- und Ergußgesteine-führende Abteilung. Diese besteht aus Gips, Ergußgesteinen, Tuffen, Agglomeraten, Sandsteinen, Kalksteinen mit örtlichen Einschaltungen von Schwefel- und Eisenerzvorkommen.

b) Mittlere Abteilung oder dolomitische und anhydritische Hormuz-Abteilung. Dunkle, zellige do-

mitische Kalke, Sandsteine, Anhydrit und etwas Gips bilden hier die Hauptmasse der Gesteine.

a) Die untere Abteilung oder Hormuz-Salzabteilung. Sie besteht aus reinem geschichtetem Salz.

Die obere und mittlere Abteilung bilden zusammen die Deckschicht („cap rock“ der amerikanischen Geologen). Vergleicht man aber unsere Deckschicht mit der bisher beschriebenen, so stimmen sie wohl in der Führung von Gips, Dolomit und Anhydrit überein. Unsere Deckschicht unterscheidet sich jedoch durch ihre besonders große Mächtigkeit, sowie durch Auftreten vieler Kalke, Sandsteine und Ergußgesteine.

a) Die untere Abteilung oder Hormuz-Salz-Reihe.

Es handelt sich um den unteren Teil der Hormuz-Reihe, doch ist nur der Zusammenhang mit den jüngeren Schichten feststellbar, während dies gegen das Liegende nicht möglich ist, da die tiefsten Teile dieser Abteilung nie in eindeutigem ungestörtem Verband mit älteren Schichten beobachtet werden konnten.

Der allgemeine Charakter dieser Abteilung ist einfach: Sie besteht aus mächtigem, dichtem Salz von sehr großer Reinheit. Die Schichtung wird durch zartrote, dünne Farbzonen (Eisenverbindungen) hervorgehoben¹. Das Salz von Namakdan auf der Kishm-Insel ist weiß und wasserklar, an anderen Stellen, z. B. auf der Hormuz-Insel, sehr zart rötlich gefärbt.

Durch die Denudation des Salzes ergibt sich eine vegetationslose, öde, schluchtreiche Landschaft. Charakteristisch für die Topographie dieser Gebiete sind tiefe Schluckschründe, Dolinen — in Entstehung und Art ähnlich wie die der Unterkarbonkalke von Gaping Ghyll in Yorkshire oder in Karstgebieten überhaupt.

Wie man bei der Plastizität des Salzes erwarten kann, wird das Salz jede Beanspruchung und tektonische Bewegung abbilden; und das Fallen bleibt infolgedessen selten auf kurze Entfernung konstant. Die „Schichtung“ verläuft in chaotischen Wellen, welche an Intensität und Richtung in der ganzen Masse wechseln, so daß man keine allgemeinen Leitlinien und auch keinen Punkt, an dem die Bewegungen ansetzten, erkennen kann. Das aneinander Vorbeigleiten der Salzsichten und

¹ Ich halte diese Erscheinung für Schichtung, bin aber meiner Sache nicht absolut sicher.

das Fließen des Salzes als eine plastische Masse tritt klar hervor; und die tektonischen Bewegungen des Salzes können hier schön studiert werden. Vereinzelt Hängel von Hormuz-Kalk sind oft von einer oder mehreren Seiten von der älteren Salzformation umgeben, wie dies aus förmlichen Fließflächen zu sehen ist, die sich solchen Denudationsrelikten anschmiegen.

Der wahre Betrag der Mächtigkeit dieser Salzgruppe kann nicht festgestellt werden, wie dies aus der Entstehung und Lagerung solcher Bildungen ohne weiteres verständlich ist; berücksichtigt man indessen das beträchtliche Ausmaß einiger solcher Salzaufbrüche, so darf vermutet werden, daß die Mächtigkeit an diesen Stellen sehr groß ist.

Der Salzstock der Kishm-Insel enthält an einer Stelle eine Einschaltung einer grünen Serpentinmasse. Hierbei handelt es sich entweder um ein aus dem Liegenden des Salzes emporgebrachtes Material oder um eine Intrusion. Der Serpentin ist zerklüftet und geädert; viele Klüfte enthalten Drusen, in denen schöne Quarze und Epidote auftreten. Die Serpentinmasse ist randlich in einen faserigen Chrysotil umgewandelt, der bisweilen das Aussehen von faserigem Holze besitzt. Er ist lichtgrün, weich und fühlt sich fettig an. U. d. M. erkennt man ein Netzwerk von Serpentinfasern, die Einsprenglinge von Olivin in verschiedensten Umwandlungsstadien enthalten.

Es mag hier schon erwähnt sein, worauf später noch zurückzukommen sein wird, daß die Beobachtung keinen Anhaltspunkt für eine vulkanische Tätigkeit während der Bildung der Hormuz-Salzabteilung ergeben hat.

b) Mittlere Abteilung oder die dolomitische und anhydritische Hormuz-Abteilung.

Die dolomitische und anhydritische Hormuz-Abteilung ist eine eigentümliche und stets deutlich erkennbare Schichtengruppe, zwar von keiner großen Mächtigkeit, aber von großer flächenhafter Ausdehnung. Wo die Denudation die schützende Dolomitlage zerstört hat, fiel das Salz der Auflösung anheim; nur an wenigen Stellen blieb diese schwarze Dolomitlage erhalten und gab Veranlassung zur Bildung von Denudationsrelikten. Dies tritt auch sehr deutlich in der Photographie (Fig. 2, Tafel IX [I]) hervor. Die Mächtigkeit dieser Abteilung beträgt an den Salzdomen der Küstenregion und auf der Kishm-Insel nur etwa 20

bis 30 m. Ihre Basis wird fast immer von einem geringmächtigen, kompakten, geschichteten, unreinem Gips und Einschaltungen von kristallinem Anhydrit gebildet. Diese führen bisweilen große Kristalle von Dolomit und Pyrit (Pentagondodekaeder und daneben Würfel). Vergesellschaftet mit dem Gips treten dünne Lagen eines trüben, weißlichen Materiales auf, welches stark an Alunit erinnert. Gips und Anhydrit werden von kalkigem Sandstein überlagert, auf welchen dickbankige, harte, sepiabraune Kalke folgen. Der Kalk ist löcherig und zellig. U. d. M. erkennt man zahlreiche runde und elliptische reihenförmig angeordnete Hohlräume. Er macht etwa 80 % der gesamten Schichtfolge aus und ist fossilifer.

Es ist eine interessante Tatsache, daß größere und kleinere eckige Bruchstücke dieser leicht erkennbaren Lage in der Gipsbresche an der Basis der oberen Hormuz-Abteilung (der Gips- und Ergußgesteine-führenden Abteilung) gefunden wurden. Dies gibt einen Hinweis auf den Ursprung des größten Teiles der Trümmerbildung in der oberen Hormuz-Abteilung und deutet darauf hin, daß es sich hierbei z. T. entweder um Residualbildungen oder aber um tektonische Breschen handelt. Dies letztere ließe sich durch Differentialbewegungen der mittleren und oberen Hormuz-Abteilung, welche durch Einschaltung von Kalken und Erstarrungsgesteinen versteift sind, gegenüber der darunterliegenden hochplastischen salzführenden Abteilung erklären.

c) Die obere Hormuz-Abteilung oder die Gips- und Ergußgesteine-führende Abteilung.

Diese Abteilung, welche hauptsächlich aus Gips und Ergußgesteinen zusammengesetzt ist, auf welche Kalke und Sandstein folgen, gehört zu den bemerkenswertesten Teilen der Schichtfolge. Die Mächtigkeit ist wechselnd. Als maximale Mächtigkeit wurde in dem Salzstock von Namakdan auf der Kishm-Insel 450 m beobachtet. Durchschnittlich beträgt sie in den verschiedenen Salzstöcken 100—200 m, wobei der größte Teil aus Gips besteht. Wo es sich um stärkere Mächtigkeiten handelt, erfolgt dies durch Anschwellen der Ergußgesteine, Agglomerate und Tuffe innerhalb des Gipses, sowie der Sandsteine und Kalke in der Dachregion.

Kurz gesagt handelt es sich um eine sedimentäre Abteilung, in welcher es während zeitweiliger Eintrocknung von Seen zur Ausscheidung von Gips und Salz kam. Diese Absätze sind von gleichaltrigen Ergußgesteinen (saure und metabasische Lavas), Tuffen und Agglomeraten begleitet. Am Ende der Trokenzeit deuten die darauffolgenden Sandsteine und Kalke wieder mehr normale marine Sedimentationsbedingungen an.

Die sedimentäre und vulkanische Phase sind also wie erwähnt ungefähr gleichaltrig, davon rührt also das Zusammenauftreten von Gips und Erstarrungsgesteinen in vielfachem Wechsel her. In einem späteren Zeitabschnitt nach der Ablagerung der Hormuz-Reihe drangen in diese ganze Schichtenfolge Lagergänge (sills) und Apophysen eines vollkristallinen Intrusionsgesteines ein.

Dies ist die Entstehungsweise der ganzen Schichtengruppe, wobei die späteren Vorgänge noch nicht berücksichtigt sind. Diese bestanden in tektonischen Bewegungen, die zur Bildung der Salzstöcke führten und in späteren Lösungsvorgängen an den Salzsichten. Ferner wissen wir nicht, ob die vielen Gipslagen ursprünglich als Anhydrit oder als Gips oder abwechselnd zur Bildung gelangten.

Die jüngeren Lösungsvorgänge, welche zur Bildung der Schwefel- und Eisenerz- und der Trümmerbildung im Gips sowie zur Anhäufung von lockeren, konglomeratischen und breschenhaften Lagen führten, sollen einer späteren Besprechung vorbehalten bleiben. M. E. jedoch handelt es sich bei dem Gips der persischen Salzaufbrüche, wenigstens größtenteils, um eine primäre Bildung und nicht um Residualgips, wie er in zahlreichen Salzaufbrüchen anderer Länder festgestellt wurde. Dies schließt natürlich nicht aus, daß ursprünglich ein kleiner Salzgehalt im Gips vorhanden war, der nachträglich ausgelaugt wurde. Jedoch im Ganzen erscheint die Gipsmasse zu groß und zu ausgedehnt, als daß sie lediglich als eine Residualbildung angesprochen werden könnte. Wir wissen ferner, daß das Hormuzsteinsalz der unteren Hormuz-Abteilung, wie die Analyse zeigte, außerordentlich rein ist.

Nachdem wir die Bedingungen kennen gelernt haben, unter denen die Gips- und Ergußgesteine-führende Abteilung der Hormuz-Reihe entstand und welche Schlüsse daraus gezogen werden dürfen, wenden wir uns nun einigen Einzelheiten zu. Diese sind

örtlich sehr verschieden und erhalten ihren Charakter durch die intensiven vulkanischen Erscheinungen, bzw. durch die Anwesenheit größerer und geringerer Mengen von anderem sedimentärem Material als Gips.

Die Basalregion dieser Gruppe wird häufig durch eine brechenhafte oder konglomeratische Gipslage gebildet, welche in verschiedener Menge gerundete oder eckige Fragmente von dolomitischem Kalk¹⁾ und Erstarrungsgesteinsbruchstücke enthält. Die Hauptmasse der Gruppe besteht aus massigem, weißem, zartrötlichem oder rauchgrauem Gips mit wechselndem Gehalt von Erstarrungs- und Sedimentgesteinsbruchstücken, die sich gegen unten einstellen.

Massiger weißer Gips ist gut bei Namakdan auf der Kishm-Insel entwickelt; die darüberliegenden Residualbildungen werden durch den dortigen Schwefelabbau gut erschlossen. Der Gips wird hier überlagert von einer Art lockerem „Gipssand“, in den man beim Darübererschreiten tief einsinkt. Es handelt sich hierbei um eine Art Hutbildung. Der rötliche Gips ist gut auf der Hormuz-Insel bei den Eisenerzabbauen zu beobachten. Diese Vorkommen von abbauwürdigem Schwefel und Eisen in der Hormuz-Reihe werden später ausführlich beschrieben.

Im Gips treten ferner vereinzelt Hämatitkristalle auf. Sie sind tafelig entwickelt. Bisweilen tritt der Eisenglanz in der Form von schmalen Schichtlagen im Gips auf. Hierbei dürfte es sich um Auflösung von Eisen aus Erstarrungsgesteinen und spätere Ausfällung handeln.

Gegen das Hangende der Gips- und Ergußgesteine-führenden Abteilung stellen sich Sandsteine und Kalke in wechselnder Menge ein. Auf der Kishm-Insel und bei Champeh sind sie schwach vertreten, bilden jedoch in den Salzstöcken von Hamairan, Bostaneh und Al Buza wohlentwickelte mächtige Schichten. Sie bestehen aus lederbraunen, hellrötlichen oder dunkelroten Sandsteinen, dunklen Stinkkalken und braunen bis sepia-braunen Kalken.

Die vulkanische Tätigkeit in dieser Abteilung war ebenfalls lokal verschieden. So fehlen z. B. auf der Kishm-Insel die Laven, während Tuffe und vulkanische Breschen häufig sind. Auf der Hormuz-Insel dagegen wurden Ströme von trachytischen

¹⁾ Dieser entstammt von der mittleren oder dolomitisch-anhydritischen Hormuz-Abteilung.

und rhyolithischen Laven beobachtet. Bei Campeh, auf dem Festland, bedecken mächtige Ergußgesteinsdecken große Gebiete. Die Erstarrungsgesteine heben sich hier überall scharf durch ihre lebhaft grünen oder grauen Farben von dem weißen Salz ab. Sie bestehen aus Rhyolith, „Grünsteinen“, vulkanischen Breschen und Tuffen. Ähnliche Gesteine wurden ebenfalls bei den Salzstöcken von Bostaneh, Hamairan und Al Buza beobachtet. Bei Khamir treten hauptsächlich Rhyolithe auf.

In keinem einzigen Falle fanden sich in dem Salze Ergußsteine eingeschaltet. Stets wurde beobachtet, daß die Erstarrungsgesteine direkt dem Salze oder direkt der dolomitisch-anhydritischen Abteilung auflagen, aber nie fand sich eine der eben erwähnten Gesteinsgruppen (Salz-, Dolomit- und Anhydritgruppen) über einem Lavastrom oder Tuff. Wenn die Erstarrungsgesteine direkt auf dem Salz liegen, dann fehlt eben die dolomitisch-anhydritische Abteilung. Die vulkanischen Vorgänge fanden hauptsächlich während der oberen Hormuz-Periode statt und erreichten ihr größtes Ausmaß während der frühesten Bildungszeit der Gipsschichten. Die unteren Schichten der Gips- und Erstarrungsgesteinsgruppe führen nämlich die meisten vulkanischen Gesteine. Dies könnte allerdings auch durch weitgehende Auflösung des unteren Teiles der Gips- und Erstarrungsgesteinsgruppe erklärt werden, so daß die Erstarrungsgesteine einsinken und deshalb näher der Basis der Schichtenfolge zu liegen kommen.

Residualbildungen der Hormuz-Reihe.

Eine genaue Darstellung der Hormuz-Reihe wäre unvollständig ohne die losen, rötlichen Gipsbildungen zu erwähnen, welche eine charakteristische Erscheinung der Salzaufbrüche der Kishm-Insel und der Hormuz-Insel sind und sich, wenn auch weniger gut entwickelt, in den Salzdomen des persischen Festlandes wieder finden. Diese hellrötlichen, erdigmehligen Gipsbildungen sind ausschließlich Bildungen der Oberfläche; tief sinkt der Fuß beim Darüberschreiten darin ein. Sie bedecken unterschiedlos alle Abteilungen der Hormuz-Reihe in größeren Flecken. In der durch Eisenverbindungen rötlich gefärbten pulvrig-erdigen Gipsmasse liegen Bruchstücke aller Gesteinsarten, welche die Hormuz-Reihe zusammensetzen. Sie ist, wie schon gesagt, nur eine Bildung der Oberfläche und erreicht durchschnittlich eine Mächtigkeit von 4 m. Zweifellos handelt es

sich hierbei um Bildungen, die durch Auflösung derjenigen Glieder der Hormuz-Reihe entstanden, die durch die Atmosphärien leicht der Zerstörung anheimfielen. In diesem Sinne spreche ich von einer „Residualbildung“ im Gegensatz zu jenen Erscheinungen der normalen Hutbildung, wie sie in der Gips- und Erstarrungsgesteinsgruppe und der dolomitisch-anhydritischen Gesteinsgruppe auftreten, und wie ich sie früher schon beschrieben habe.

3. Die Intrusivgesteine, welche älter als die obere Kreide, jedoch jünger als die Hormuz-Reihe sind.

Angesichts der Wichtigkeit der nun zu beschreibenden Gesteine hielt es Verfasser für zweckmäßig, diese als besondere Gruppe auszuscheiden und zu behandeln. Es handelt sich hierbei meist um saure bis intermediäre Intrusiva, die als Lagergänge (sills), normale Gänge (dykes) und unregelmäßige Apophysen in der Hormuz-Reihe auftreten. Dünnschliffe dieser Gesteine, die bei Bostaneh, Al Buza und Champah anstehen, ergaben, daß sie im Wesentlichen aus Feldspat, in der Hauptsache aus Orthoklas, untergeordnet Plagioklas und grüner Hornblende bestehen. Quarz ist gewöhnlich in geringen Mengen vorhanden, ferner auch ein wenig Magnetit und gelegentlich auch Epidot. Die Hornblende ist sehr oft in ein radialfaseriges Aggregat von Chlorit umgewandelt.

Pilgrim (1908) hatte diese Gesteine zu den Quarz-Dioriten gestellt; aber sie unterscheiden sich von dem gewöhnlichen Quarz-Diorit durch die relative Häufigkeit an Orthoklas und scheinen mir deshalb mehr zu den Hornblendegraniten zu gehören. Nur einige wenige Gesteinsarten bestehen fast ganz aus grüner Hornblende und Feldspat, was auch schon von Pilgrim (1908) beobachtet wurde.

Pilgrim rechnet diese holokristallinen Gesteine zu seiner Gruppe der „basischen Erstarrungsgesteine von Oman“, einer Gruppe, die nach ihm viel älter als die Hormuz-Reihe ist. Das Alter dieser Gesteine ist jedoch zweifellos jünger, denn sie treten als Intrusiva in der Hormuz-Reihe auf, z. B. auf der Insel Henjam und Kishm, bei Champah und entlang der Küste von Lingah bis Bandar Abbas. Bei Al Buza ist es klar und deutlich zu sehen, wie ein Intrusivgang die Sedimente der oberen

Hormuz-Reihe oder der Gips- und Erstarrungsgesteins-Reihe quer durchschneidet.

Die Intrusiva drangen hauptsächlich in die jüngsten Schichtglieder der oberen Hormuz-Reihe ein, aber niemals in jüngere Gesteinsfolgen. Dies ist wichtig, weil dadurch die mehrfach vertretene Annahme, daß die Salzaufbrüche der Hormuz-Reihe durch das Aufdringen von Intrusivgesteinen entstanden seien, hinfällig wird.

Es ist also sicher, daß im Gebiete des persischen Golfes keine Intrusionen in kretazischen oder tertiären Schichten stattfanden (also seit der Bildung des Rudistenkalkes!). Und da wir wissen, daß die Entstehung der Salzaufbrüche in das Spättertiär fällt — sind doch neogene Schichten durchbrochen! — so ergibt sich daraus einwandfrei, daß kein ursächlicher Zusammenhang zwischen der Intrusions-tätigkeit und der Bildung der Salzhorste bestehen kann.

4. Der Rudistenkalk (obere Kreide).

Es sind die ersten Schichten, von welchen auf Grund des Fossilienmaterials ein sicheres Alter, nämlich obere Kreide, angegeben werden kann. Seine Verbreitung in unserem Gebiete (vergl. Karte, Tafel X [II]) ist sehr gering, er konnte lediglich in geringen Vorkommen in der Umgebung von Khamir festgestellt werden.

Sein Liegendes ist die Hormuz-Reihe, doch ist die Grenze beider eine tektonische, da die Hormuz-Reihe den Rudistenkalkstein durchbricht. Die Vorkommen bilden gewissermaßen einen zerbrochenen Ring um den Salzaufbruch der Hormuz-Reihe. Sie fehlen auf der Südseite. Hier werden sie durch alluviale Schuttkegel verdeckt. Das größte an der Westseite gelegene Vorkommen von Rudistenkalk bildet einen bogenförmig gekrümmten steilen Abhang von etwa 2—3 km Länge und fast 200 m Höhe. An der Ost- und Nordseite des Salzaufbruches ist der Rudistenkalkstein stark abgetragen, bildet jedoch scharf ausgeprägte, wenn auch unregelmäßige Ausstriche. Das südliche Ende des obengenannten größten Vorkommens im Westen ist schief zum Schichtstreichen scharf durch die intrusivartig eindringende Hormuz-Reihe abgeschnitten; in gleicher Weise durchschneidet diese übrigens auch jüngere Schichtenkomplexe (von der oberen

Kreide bis zum unteren Miozän), wie aus der Karte zu ersehen ist. Doch ist dieses Verhalten eine Ausnahme, gewöhnlich ist ein periklinales Abfallen der Schichten um den Salzaufbruch festzustellen.

Der Rudistenkalk bildet graubraune, dickbankige Schichten und besteht stellenweise fast nur aus Rudisten. Die tieferen Lagen bestehen mehr aus massigen blässeren Kalksteinen, welche selten Rudisten führen. In diesen Lagen fanden sich vereinzelte Bruchstücke von *Requienia*.

Die Gesamtmächtigkeit des Rudistenkalkes kann auf etwa 370 m veranschlagt werden.

Folgende Fossilien wurden gefunden:

cf. *Caprinella doublieri* d'Orb.

cf. *Durania laevis* Douv.

cf. *Durania Mortoni* Douv.

cf. *Sauvagesia praesharpei* Toucas

cf. *Sauvagesia nicaisei* Coquand.

Nach mündlichen Mitteilungen von Dr. Douglas-Oxford handelt es sich bei den persischen Rudisten um ungewöhnlich große Formen, deren genaue Bestimmung noch aussteht und unter denen sich noch zahlreiche neue Formen befinden dürften.

5. Das Eozän.

Über dem Rudistenkalk folgt das Eozän. Die Überlagerung scheint konkordant zu sein; ganz lokal erweckt die Grenze wohl den Eindruck einer Diskordanz, indessen dürfte es sich in diesen Fällen wohl eher um Rutschungserscheinungen der weichen eozänen Mergel über dem harten Rudistenkalk handeln. Die Bezeichnung Eozän ist für den ganzen Schichtenkomplex zwischen Rudistenkalk und Oligozän (Khamir-Kalke) verwendet. Somit muß es auch das Paleozän enthalten.

Vorwiegend bestehen die Schichten aus mergeligen Gesteinen und erreichen eine beträchtliche Entwicklung in dem Gebiete um Khamir. An letzterem Orte werden sie bis etwa 650 m mächtig.

Die weitere Einteilung ist ziemlich willkürlich, doch kann immerhin eine obere und untere Abteilung in diesem Schichtenkomplex unterschieden werden. Die untere Abteilung — etwa 500 m mächtig — besteht zur Hauptsache aus graugrünen Mergeln mit weichen, zerreiblichen grauen Mergelkalken. Daneben

stellen sich untergeordnet graugrüne Schiefer-tonlagen ein. Als große Seltenheit fanden sich bis zu 50 cm starke harte, braune Kalksteinlagen, welche Nummuliten und andere Fossilien führen. Die seitliche Erstreckung dieser Lagen ist jedoch sehr gering. Auch dünne konglomeratische Lagen wurden in der Nähe solcher Kalksteine beobachtet.

Die obere Abteilung könnte nach der hier allein auftretenden *Micropsis gagaria* als *Micropsisschiefer* bezeichnet werden. Die Mächtigkeit beträgt ungefähr 150 m. Sie geht ganz unmerklich aus der unteren Abteilung hervor und besteht ganz gleichmäßig aus blaugrünen und rötlichblauen Schiefer-tonen mit Einschaltungen von Mergeln. Mergelkalke und Kalke fehlen so gut wie ganz. Erst gegen die obere Grenze stellen sie sich ein.

Das Eozän ist ebenfalls bei Champeh (80 km westlich Khamir) entwickelt, erreicht hier jedoch keine so große Mächtigkeit (nur 150—170 m). Es besteht hier aus graugrünen Mergelschiefern, denen spärlich kalkige Schichten von $\frac{1}{2}$ —2 m Stärke eingeschaltet sind. In letzteren treten Hornsteinlagen auf.

Folgende Fossilien wurden im Eozän von Khamir gefunden:

<i>Micropsis (gagaria)</i>	} in der oberen Abteilung.
<i>venustula</i> Duncan und Sladen	
<i>Alveolina ovoidea</i> d'Orb.	} in der oben genannten fossilreichen Kalklage der unteren Abteilung.
<i>Nummulites Biarritzensis</i> d'Arch. (= <i>N. atacicus</i> Leym.)	
<i>Orthophragmina umbilicata</i> Depr.	
<i>Globigerina</i> sp. ind.	

6. Oligozän (Khamirkalke).

Der oligozäne Khamirkalk folgt konkordant auf dem Eozän. Seine Mächtigkeit beträgt etwa 200 m, schwankt jedoch. Als elliptischer Rand umsäumt er die Khamir-Antiklinale in ihrer Längserstreckung und erhebt sich zu großer Höhe (bis 1000 m über N. N.), wodurch er zum dominierenden Element der Landschaft in der Umgebung von Khamir wird.

Es handelt sich um einen sehr fossilreichen, harten, braunen, massigen Kalk. Zum Teil sind es Nummulitenkalke, und Lumachellen, z. T. Korallen- und Echinodermenkalke. Eingeschaltet finden sich dazwischen braune, fossilreiche Lagen. An der Basis treten außerdem Schiefer-tonlagen auf.

In der Umgebung von Champeh wird das Oligozän durch etwa 50 m mächtige, harte, braune Kalke vertreten. Sie sind dicht und gut gebankt, Fossilien wurden hier nicht gefunden.

Das Alter dieser Schichten als Stampische Stufe wurde bereits von Pilgrim (1908) erkannt.

Folgende Fauna wurde vom Verfasser gesammelt und durch Herrn Dr. Douglas-Oxford bestimmt (vergl. Richardson 1924, p. 14):

- Nummulites intermedia* d'Arch.
- Nummulites fichtelis* Mich.
- Nummulites garansensis* Leym.
- Miliola seminulum* Zinne.
- Miliola* sp. ind.
- Globigerina* sp. ind.
- Nubecularia Boliviana* Defr.
- Nubecularia* sp. ind.
- Polystomella craticulata* d'Arch.
- Carpentaria* sp. ind.
- Pentellina* sp. ind.
- Isastraea* cf. *irregularis* Duncan.
- Astrocoenia ramosa* Sow.
- Orbicella* cf. *Haimei* Abich.
- Phyllangia alveolaris* de Loriol.
- Echinolampas* cf. *tumidopetalum* Gregory
- Euspatangus* cf. *formosus* de Loriol.
- Cidaris* sp. ind. (Stacheln).
- Exogyra persica* nov. spec.
- Ostrea* cf. *digitalina* Eichn.
- Fistulana* cf. *egyptica* Opp.
- Lithodomus* sp. cf. *Verbeeki* Boettger.
- Pecten* cf. *Labadyei* d'Arch.
- Pleurotomaria* sp. ind.
- Trochus cumulans* d'Arch.
- Turritella* cf. *Affinis* d'Arch.
- Phasianella* sp. ind.
- Lithothamnium* sp. ind.

7. Neogen.

Die jüngere tertiäre Schichtfolge wird — vorwiegend auf Grund petrographischer Eigenschaften — in drei Stufen gegliedert: untere, mittlere und obere Fars-Reihe. Diese Glied-

derung (Richardson 1924) entspricht im Bakhtiari-Gebiet und Luristan im Großen und Ganzen dem Unter-, Mittel- und Obermiozän. Indessen sei hier betont, daß die angenommenen Abschnitte (untere, mittlere und obere Fars-Reihe) im Golfgebiet und im Bakhtiari-Gebiet einander nicht genau zeitlich entsprechen. Es wird dies bei einem späteren Vergleich zwischen der Golfregion und den nördlichen Gebieten noch näher erläutert.

1. Untere Fars-Reihe: Die untere Fars-Reihe oder miozäne Gips-Reihe überlagert konkordant den Khamirkalk. Sie besteht aus einförmigen massigen Gipsen, denen spärliche grünblaue Mergel und lederfarbene muschelartig-brechende Kalksteine eingelagert sind. Die Reihe bildet ein vegetationsloses, wildes und rauhes Gebiet, in welchem weiße Farben vorherrschen. Bei Birkeh Sifleh, wo der Gips an die See herantritt, bildet er die hohe, weiße, von der See unterwaschene Steilküste. Die Mächtigkeit beträgt im Khamir-Gebiet mindestens 450 m.

Die untere Fars-Reihe gehört zu den bezeichnendsten Formationen Persiens und erstreckt sich über riesige Entfernungen. So beispielsweise in gerader Linie nördlich von Bagdad bis zur Kishm-Insel (1200 km). Im Bakhtiari-Gebiet, wo der Verfasser mehrere Jahre lang eingehend diese Schichten untersuchte, bestehen sie aus dem gleichen massigen Gips mit den eingeschalteten Lagen von rötlichen und bläulichen Mergeln, Salz, Anhydrit und detritischem Kalk. Hier sind die Schichten intensiv gefaltet und überfaltet; und kaum irgendwo anders kann die Tektonik im Gips, sein plastisches Verhalten bei mechanischer Beanspruchung so klar wie hier auf riesige völlig vegetationslose Strecken verfolgt werden.

2. Mittlere Fars-Reihe: Die Abgrenzung dieser Abteilung ist willkürlich. In manchen Gebieten Persiens erscheint es zweckmäßig als Grenze zwischen der unteren und mittleren Fars-Reihe den ersten mächtigen Kalksandstein zu wählen, über welchem keine geschlossenen Gipsmassen mehr auftreten.

In der Golfregion besteht diese Abteilung aus rötlichen, bläulichen und grünlichen Tönen und Mergeln, mit muschelartig brechenden Kalken und Sandsteinen. Die Mächtigkeit schwankt örtlich und zwar etwa zwischen 150—300 m. Die Bildungszeit der mittleren Fars-Reihe bedeutet einen starken klimatischen Umschwung, durch welche die Eintrocknung und Gipsbildung zur Zeit der unteren Fars-Reihe beendet wurde.

3. Die obere Fars-Reihe: Die obere Fars-Reihe findet sich vor allem auf der Kishm-Insel entwickelt, wo sie etwa 1000 m Mächtigkeit erreicht. Sie besteht hauptsächlich aus Sandstein und muschelrig brechenden Kalken, denen untergeordnet grünliche Tone und Mergel eingeschaltet sind.

8. Quartär (Tersai-Reihe).

Das Quartär besteht aus milden, zerreiblichen Sandsteinen und Geröllagen, welche diskordant auf die Fars-Reihe folgen. Auf der Kishm-Insel erreichen sie eine Mächtigkeit von 100 bis 150 m.

VI. Vergleich der Schichtfolge im persischen Golfe und anderen Teilen Persiens.

Eine eingehende Beschreibung der Schichtfolge und eine genaue Fossilliste der verschiedenen Abteilungen von der oberen Kreide bis zum Quartär des Bakhtiari- und Luristan-Gebietes findet man in meiner früher erschienenen Arbeit (Richardson 1924).

Die Schichtfolge der Kishm-Insel und des benachbarten Festlandes, die ich auf den vorhergehenden Seiten besprochen habe, hat einiges Gemeinsame mit der Schichtfolge des nördlichen Persiens, wie schon angeführt wurde. Jedoch sind einige wichtige Unterschiede in den Einzelheiten vorhanden, die einer Erwähnung wert sind.

In groben Zügen stimmen die einzelnen Schichtabteilungen des Südens und des Nordens lithologisch und stratigraphisch überein. Der oberkretazische Kalkstein, der in seinen unteren Teilen Requienien, in seinen oberen Rudisten führt, entspricht dem Dasht-i-Gul- und dem Siah Kuh-Kalk und dem darüber folgenden Lopho-Echinodermen-Kalk. Die obereozänen Micropsis-schiefer von Khamir haben teilweise ihre Parallele in den obereozänen Spatangidenschiefern von Deh Luran und Dasht-i-Gul, welche Pericosmus, Schizaster, Ditremater und andere Formen enthalten. Das mittlere und das untere Eozän des Nordens, das aus geschichteten, mergeligen Kalken, blauen und rötlich-violetten Schiefern besteht, die *Alveolina ovoidea*, *Orthophragmina umbilicata*, *Nummulites uroniensis*, *Nummulites scabra*, *Nummu-*

lites gallenis und viele andere Formen führen, entspricht dem mergeligen Eozänkalk und den Mergeln von Khamir, die auch *Alveolina ovoida*, *Orthophragmina umbilicata* und *Nummulites Biarritzensis* enthalten.

Der oligozäne Kalk von Khamir (Khamir-Kalkstein) wurde von Pilgrim (1908) als stampisch bestimmt, was durch meine eingehende Sammlung von Fossilien und deren Bestimmung durch Dr. Douglas bestätigt wurde. Im Norden entspricht der Asmari-Kalk in lithologischer Beziehung dem Khamir-Kalk, aber hier (Bard-i-Quamcheh und Dasht-i-Gul) entdeckte mein Kollege, Herr W. S. Walker und ich Schichten, die in Menge *Lepidocyclina dilatata* und andere Arten und eine große Fauna enthalten, die für einen Teil des Asmari-Kalkes ein untermiozänes Alter beweisen. Zwischen dem Bakhtiariland und dem Khamirbezirke fand mein Kollege B. K. N. Wyllie eine Fauna im Asmari-Kalke von Kuh-i-Dira, welche sowohl aus der für die stampische Stufe charakteristischen Art *Nummulites intermedia*, wie aus der für das Untermiozän charakteristischen *Lepidocyclina dilatata* bestanden. Douglas bestimmte diese beiden Formen in ein und demselben Dünnschliff. Während also der Khamir-Kalk des Südens oligozän ist, ist der Asmari-Kalk des Nordens z. T. oligozän, z. T. untermiozän. Es ist deshalb naheliegend, daß es sich bei der Grenze zwischen der unteren Fars-Gips-Reihe und den massigen Kalksteinen (Khamir-Kalk im Süden, Asmarikalk im Norden) nicht um eine Zeitgrenze handelt. Douglas hat vermutet, daß während der unteren Fars-Periode klimatische Änderungen eintraten, die ein allmähliches Verdunsten der Binnenseen verursachten, das langsam von Süden nach Norden vorschritt. Der Asmari-Kalk ist eine sehr wichtige Gesteinsgruppe, da er in Persien Träger der abbauwürdigen Erdöllager ist, wie ich dies an anderer Stelle (Richardson 1924) nachgewiesen habe.

Die massige Gipsgruppe des unteren Miozän von Khamir hat in einer ähnlich massigen Gipsgruppe im Bakhtiariland und in ganz Luristan ihr entsprechendes Gegenstück. Im Norden enthält der Gips auch gelegentlich Schichten von detritischem Kalk, wie auch von Salz und Anhydrit mit roten und blauen Mergeln. Auch die mittlere und obere Fars-Reihe ist durch ähnliche Schichten sowohl im Norden wie im Süden vertreten. Es scheint jedoch auch hier die Tatsache zu bestehen, daß, was auch vor-

her über die Beziehungen zwischen dem Asmari- und Khamir-Kalk betont wurde, ein Teil des untermiozänen Gipses in den Gofregionen ein klein wenig älter ist, als der untermiozäne Gips im Norden. Mit anderen Worten: einem Teil des untermiozänen Gipses von Khamir entspricht im Norden eine kalkige Fazies.

Im Norden liegen als Grenzschichten diskordant über den Farsschichten die sogen. Bakhtiari-Konglomerate, die vermutlich pliozän sind. In der Golfregion sind diese Konglomerate weniger stark entwickelt, wenn nicht ein Teil des grobkörnigen Sandsteins der oberen Fars-Schichten ihr Äquivalent ist.

Was die Hormuz-Reihe und die Intrusivgesteine anlangt, welche jünger als die Hormuz-Reihe, jedoch älter als die obere Kreide sind, so lassen sich keine Vergleiche anstellen, da diese Schichten mit Ausnahme der Golfregion bis jetzt noch nicht bekannt geworden sind.

VII. Beschreibung der geologischen Profile.

Die geologischen Profile wurden zuerst in einem großen Maßstabe gezeichnet, so daß Einzelheiten, naturgetreue Beziehungen der stratigraphischen Gruppen zueinander und deren relative Mächtigkeiten usw. wiedergegeben werden konnten. Diese Profile wurden später auf einen Maßstab 1:5 000 verkleinert.

Als topographische Unterlage wurde ein Vermessungsnetz mit Hilfe von Horizontalnivellierinstrumenten (System Dumpy), Theodolithen oder Prismenkompassen und Bandmaß geschaffen, wie es gerade die Gegend erforderte und die Zeit zuließ.

Das Gelände war häufig außerordentlich wild und schroff, wie dies auch die Profile zeigen, so daß es manchmal beinahe ungangbar war.

Das Profil durch den östlichen Teil des Salzstockes von Namakdan auf der Insel Kishm.

Tafel XI [III].

Im Osten zeigt das Profil zunächst die schwach geneigten grobkörnigen Schichten der Tersai-Reihe, welche diskordant die Schichten der oberen Fars-Reihe überlagern. Auch diese sind zuerst schwach geneigt, erst gegen das westliche Ende der alluvialen Bedeckung richten sie sich steiler auf (40—45°). Hier ist

die Profillinie auch ungefähr senkrecht zum Streichen, während sie vorher fast parallel dem Streichen verlief. Es folgen nun eine Reihe von scharf abgesetzten kleinen Gebirgsrücken, die aus Sandsteinen, Kalken und Lumachellenbänken der oberen Fars-Reihe bestehen, denen graugrüne Schiefer eingeschaltet sind; alle diese Schichten fallen mit einem schnell ansteigenden Winkel ein, bis sie saiger stehen und schließlich in Berührung mit der Hormuz-Reihe überkippt sind.

Die Gips- und Erstarrungsgesteine-führende Abteilung der Hormuz-Reihe besteht hier ganz aus Gips, sie hebt sich durch ihre vorwiegend rote Farbe scharf von den Schichten der Fars-Reihe ab. An der Grenze der Fars- zur Hormuz-Reihe ist diese zermalmt und in ihrer Lagerung gestört, auch in den übrigen Teilen herrscht saigere oder sehr steile Stellung. Gegen die Basis zu bilden eckige Gesteinsbruchstücke, nämlich Kalke und Sandsteine der kalkigen Hormuz-Gruppe eine durch Gips verkittete Bresche. Im ganzen Profil finden sich in dieser Gruppe weder Intrusiv- noch Extrusivgesteine, obwohl gelegentlich Bruchstücke von ihnen vorhanden sind, die hauptsächlich in der vorher erwähnten Gipsbresche auftreten. Adern von blättrigem Haematit treten in der ganzen Hormuz-Reihe auf. Im Profilschnitt besitzt die Gips- und Erstarrungsgestein-führende Abteilung der Hormuz-Schichtfolge eine Gesamtmächtigkeit von annähernd 100 m.

Auf die Gips- und Erstarrungsgesteine-führende Abteilung folgt das Hormuz-Salz. In der Profillinie fehlen die Hormuz-Kalke (außer im westlichsten Teil), so daß das Hormuz-Salz direkt der Gipsbresche anliegt. Das Salz ist sehr stark mechanisch beansprucht. Das Westende des Profils zeigt einen kleinen Denuationsrelikt aus Hormuz-Kalk.

Das Profil durch den östlichen Teil des Salzstockes von Champeh.

Tafel XII [IV].

Dieses Profil durchquert die unteren Fars-Schichten bis zum Hormuz-Salz; es umfaßt die Gipsablagerungen der unteren Fars-Gruppe, die ganze Folge der oligozänen Kalke, einen Teil des Eozäns, die Gips- und Erstarrungsgesteine-führende Abteilung der Hormuz-Reihe (einschließlich der Intrusivgesteine), die Hormuz-Kalke und das Hormuz-Salz.

Beginnend mit den gut erkennbaren gipsführenden unteren Fars-Schichten, durchschneidet das Profil weißen, massigen Gips, wobei der Fallwinkel allmählich bis zu etwa 50—60° zunimmt; es folgen dann die Khamir-Kalke und die tonigen eozänen Schiefer. Der Khamir-Kalk folgt gleich unter der Gipsgruppe und besteht aus harten, kompakten, gut geschichteten, bräunlich grauen Kalken in einer Mächtigkeit von rund 45 m.

In konkordanter Lagerung folgen ungefähr 150 m mächtige, graugrüne Eozänschiefer, denen ungefähr 6 Kalksteinbänke von $1/2$ —2 m Dicke und gelegentlich auch Hornsteinbänke eingelagert sind. Durchschnittlich herrscht steile bis saigere Schichtung vor; an der Grenze zu der Gips- und Erstarrungsgestein-führenden Abteilung der Hormuz-Reihe ist das Eozän überkippt.

Die Schichten der letzten Gruppe (der Gips- und Erstarrungsgesteine-führenden Hormuz-Gruppe) sind durchwegs senkrecht gestellt. Sie bestehen hauptsächlich in den oberen Teilen aus maszigem, weißem und rötlichem Gips, ferner aus groben Gipskonglomeraten und aus Breschen, die besonders für die unteren Abteilungen charakteristisch sind.

Auf die Gips- und Erstarrungsgestein-führende Abteilung folgt, wie schon vorher erwähnt wurde, das Hormuz-Salz, welches wie bei Namakdan örtliche tektonische Beanspruchung zeigt.

Im Profil fehlt der Hormuz-Kalk; nur als Decke einiger großer und hoher Denudationsrelikte ist er noch vorhanden.

Im weiteren Verlauf schneidet das Profil von der „Haupt-schlucht“ aus nach NW einen malerischen Abhang, der mit grünem Gehängeschutt übersät ist, so daß auf weite Erstreckung hin das Salzvorkommen verborgen bleibt; weiter oben tritt das Anstehende des Gehängeschuttes selbst zum Vorschein. Es ist eine ausgedehnte, regelmäßige Decke eines Grünsteins, die direkt dem Salz auflagert. Es handelt sich dabei um propylitisiertes Material.

Nun folgt erst das Salz der unteren Hormuz-Reihe ohne Überlagerung von Schutt, dann kommt nochmals eine kleine von Grünstein bedeckte Stelle, danach wiederum Salz bis auf den höchsten Gipfel; dieser trägt ein Denudationsrelikt, der aus Schichten der dolomitisch-anhydritischen Abteilung der Hormuz-Reihe besteht.

Das Profil durch den Salzhorst von Khamir und das ihn umgebende Gebiet.

Tafel XIII [V].

Das Profil beginnt in der Küstenebene und durchquert in 4 km Länge die gesamte Schichtfolge von der unteren Fars-Reihe bis zur Hormuz-Reihe.

Die Gesamtmächtigkeit der unteren Fars-Reihe kann nicht genau angegeben werden, da das Hangende der Schichtfolge nicht beobachtet werden konnte; im Profil sind nur 500 bis 650 m des massigen Gipses angeschnitten, während der Rest von Alluvium bedeckt ist und sich deswegen einer weiteren Beobachtung entzieht. Als flachwellige Hügel in der Ebene beginnend, erheben sich die unteren Fars-Schichten zu einem wilden, nur aus Gips bestehenden Gebiet und überlagern den Khamir-Kalk, der in hohen und steilen Berghängen auftritt. Die Fars-Schichten bestehen hauptsächlich aus massigem, weißem Gips, dem einige wenige und unbedeutende Bänke von lederfarbigen Lumachellenkalken oder blaugrünen Schiefertönen eingelagert sind.

Die Gipsablagerungen der unteren Fars-Reihe überlagern konkordant die oligozänen Kalke. Diese bilden an der Ostseite einen Steilrand mit jähabstürzenden, z. T. überhängenden Wänden. Die sehr fossilreichen oligozänen Kalke liegen völlig konkordant auf dem Eozän. Die eozänen Schichten überlagern ihrerseits wieder den Rudistenkalk, welcher um den ebenen Gewölbekern einen hohen Wall bildet.

Im ganzen Profil treten wegen alluvialer Bedeckung keine Schichten der Gips- und Erstarrungsgestein-führenden Abteilung der Hormuz-Reihe zu Tage; aber weiter südlich gibt es gut aufgeschlossene Stellen, die wie auch an anderen Orten den Gips mit eingeschalteten Lavaströmen zeigen. In den Wasserrissen und Schluchten, welche die alluviale Bedeckung durchschnitten haben, ist das massige Salz der Hormuz-Salzgruppe entblößt. Der Ostteil des Profiles zeigt die andere Seite des das Salz randlich umgebenden Rudistenkalkes, der hier von den tonigen eozänen Schichten überlagert wird.

VIII. Die Salzhorste.

1. Allgemeines.

Längs der Küste von Bostaneh bis Bandar Abbas und auch weiter im Inneren dieser Küstenregion sind zahlreiche Salzstöcke

vorhanden. Auf dem Festland trifft man sie bei Bostaneh, Champeh, Hamairan, Al Buza und Khamir und ferner auf den Inseln Kishm, Hormuz und Henjam. Mein Kollege, Herr W. S. Walker und ich haben alle diese Vorkommen untersucht. Auch bei Puhai, Angura und anderen Orten des Festlandes, sowie auf den Inseln Larak und auf anderen Inseln des Golfes sind jetzt Salzstöcke festgestellt.

Der Umriß der Salzstöcke ist mehr oder weniger kreisförmig bis oval, der Durchmesser schwankt zwischen 5 und 10 km. Gewöhnlich treten sie in den Achsen der Antiklinalen auf, indem sie hier die Schwächestellen der Falten durchstoßen konnten. Meist hat das Salz seine hangenden Schichten völlig durchstoßen. In diesen Fällen umgeben die jüngeren Schichten der Hormuz-Reihe immer die Salzmasse in einem runden oder elliptischen Ringe. Die Sedimente, durch welche die Hormuz-Reihe durchbrochen sind, finden sich dann rund um den Horst in saigerer oder steiler Stellung. Wo jedoch das Salz nicht das Hangende durchbrach, sind auch die umgebenden Sedimente nicht so sehr gestört, wie z. B. bei Hamairan, Al Buza und auf der Henjam-Insel.

2. Der Salzstock der Hormuz-Insel.

Die steil aus der hier tiefen See aufsteigende Insel Hormuz liegt etwa 17 km südöstlich von Bandar Abbas. Bei etwa ovalem Umriß besitzt sie einen Durchmesser von ungefähr 8 km. In weitem Maße nehmen Gesteine der Hormuz-Reihe in der durch den Salzaufbruch bedingten Lagerung am Aufbau teil. Es ist eine vegetationslose, wilde und rauhe Landschaft, durch welche kein Weg führt und die nur von wenigen Fischern bewohnt ist.

Die Hauptmasse der Insel ist reines Salz der Hormuz-Salzabteilung. Nur der Außensaum wird von steil oder saiger gestellten Schichten der oberen Hormuz- oder der Gips-Erstarrungsgesteinabteilung gebildet. Der Gips ist durch Eisenverbindungen sehr stark rot gefärbt und enthält in großen unregelmäßigen Taschen pulverigen Hämatit, der durch primitive Methoden gewonnen wird.

Die Gips- und Erstarrungsgesteine-führende Reihe enthält eingelagerte Lavaströme von Rhyolith und Trachyt; ferner sind auch Intrusivgesteine vorhanden.

U. d. M. erweisen sich die Trachyte stark zersetzt. In einer kryptokristallinen Grundmasse liegen die stark zersetzten Ein-

sprenglinge von Feldspat, meistens Orthoklas, und einige wenige Plagioklase. Quarz fehlt; häufig tritt Magnetit in der Grundmasse auf, wahrscheinlich eine Neubildung der zersetzten melanokraten Gemengteile.

3. Der Salzstock der Kishm-Insel.

Tafel XI [III].

Die Kishm-Insel ist eine der größten Inseln des Golfes (über 100 km lang). Sie besteht zum Teil aus einer Sandwüste und zum Teil aus kahlen Gebirgsketten. Abgesehen von dem Salzhorst von Namakdan besteht die ganze Insel aus Schichten der oberen Fars- und der Tersai-Reihe, welche flach gefaltet sind.

Die am westlichsten gelegene Antiklinale ist von einem Salzstock durchbrochen, dem sogen. Namakdan-Salzstock. Er ist beinahe kreisförmig und hat einen Durchmesser von etwa 7 km; die große zentral gelegene Masse besteht aus Hormuz-Salz und wird von einem ringförmigen Streifen der Gips- und Erstarrungsgestein-führenden Abteilung der Hormuz-Reihe umgeben.

Der Salzhorst erhebt sich im Scheitel des Gewölbes und um den Kranz der ihn umgebenden Hormuz-Gesteine bilden die Schichten der oberen Fars-Reihe eine Zone vertikal gestellter oder überkippter Schichten.

Die mittlere Hormuz-Reihe (die dolomitisch-anhydritische Abteilung) liegt in Form großer Denudationsrelikte auf dem Salz. Die Gips- und Erstarrungsgesteine-führende obere Abteilung der Hormuz-Reihe ist überall steil aufgerichtet (senkrecht, zum Teil auch überkippt); sie setzt sich aus rötlichem Gips, vulkanischen Tuffen, Agglomeraten und Breschen zusammen.

Die oberen Grenzschichten der Gruppe sind helle Kalke, die aber nicht überall gefunden werden. In der Basaltregion enthält der Gips eine große Menge verschiedener Gesteinstrümmen, nämlich dolomitische Kalke aus der mittleren Hormuz-Gruppe, vulkanische Gesteine, Stücke von Hämatit und anderes; sie liegen zerstreut in einem Gemenge von Residualgips. Als Oberflächenbildung tritt die schon erwähnte dünne Lage des roten lockeren Residualgipses auf, welche sich in Form unregelmäßiger Flecken über alle Glieder der Hormuz-Reihe verbreitet findet.

Im Salz der Jardun-Oase fand der Verfasser eine große Serpentinmasse. Bei dieser kann es sich, wie schon erwähnt, entweder um eine Intrusivmasse in situ handeln, welche zu Serpentin umgewandelt wurde oder aber um ortsfremdes Material,

wohl der Unterlage der Hormuz-Reihe entstammend, welches durch das Salz emporgebracht wurde.

Die Gips-Ergußgesteine-führende Abteilung (obere Hormuz-Abteilung) enthält Schwefelvorkommen. Der Schwefel tritt nur im Gips an engbegrenzten Stellen auf und hier teils eingesprengt, teils lagenartig angereichert, teils in kleinen Klüften. Die Eingeborenen gewinnen ihn mit primitiven Mitteln und schmelzen ihn an Ort und Stelle.

Wie schön erwähnt, durchstößt der nur im zentralen Teil der Antiklinale auftretende Salzhorst auch das jüngere Neogen (obere Fars-Reihe). In der Umgebung des Salzhorstes sind diese Schichten sehr stark gestört, während sie abseits davon nur schwache Neigung aufweisen. Entlang der Sattelachse, wo die Schichten horizontal liegen, behalten sie diese Lage bis auf wenige Hunderte von Metern vom Salzhorst bei, dann erfolgt jäh die Aufrichtung. In der Annäherung an den Salzhorst steigert sich diese bis zur senkrechten Stellung und schließlich am Kontakt bis zur Überkipfung.

Die Sandsteine und Kalke sind in der Umgebung des Salzaufbruches oft gehärtet. Der Vergleich mit Gesteinen außerhalb der Störungsregion ergab jedoch u. d. M. keine Erklärung für diese Eigenschaft.

Da die obere Fars-Reihe starke Störungen durch den Salzhorst zeigt und selbst die quartären Tersai-Schichten ebenfalls noch eine tektonische Beeinflussung zeigen, ergibt sich einwandfrei, daß das Aufdringen des Salzes im Spättertiär (Pliozän) und später stattfand und selbst noch nicht nach der Ablagerung der quartären Tersai-Schichten vollendet war.

4. Der Salzstock der Henjam-Insel.

Die kleine Insel Henjam liegt wenige Kilometer südlich der Kishm-Insel.

Die Hormuz-Reihe nimmt hier nur einen sehr kleinen Raum ein, es sind die kleinsten Vorkommen unter allen, welche durch den Verfasser untersucht wurden. Die obere Hormuz-Reihe besteht aus roten Gipsen mit zahlreichen Rhyolith einschaltungen. Kontaktmetamorphose war nicht nachweisbar. Salz ist nur auf einen kleinen Raum beschränkt.

5. Der Salzstock bei Bostaneh.

Dieser liegt auf dem Festland in der Nähe der Ortschaft Bostaneh, ungefähr 16 km westlich der Stadt Lingeh.

Von fast kreisförmigem Umriß, erhebt er sich im zentralen Teil einer langen Antiklinale, welche aus den oberen Fars-Schichten besteht. Der generelle Aufbau ist wie bei den vorbeschriebenen. Ein äußerer Kranz von Gesteinen der oberen Hormuz-Reihe umgibt den großen, aus Salz bestehenden zentralen Teil. Hier enthält die obere Hormuz-Reihe riesige Mengen von vulkanischem Material. Auch Tiefengesteine von syenitischem Charakter finden sich hier. U. d. M. erkennt man große idiomorphe Orthoklase und eine grüne Hornblende. Plagioklas ist spärlich. Beobachtet wurde ferner Epidot in kleinen Nadeln und Stengeln und akzessorischer Magnetit. Die Hornblende ist z. T. chloritisiert.

6. Der Salzstock von Champeh.

Tafel XII [IV].

Er liegt nördlich der Ortschaft Champeh, etwa 40 km N. N. W. der Küstenstadt Lingeh. Infolge der großen Salzsümpfe, welche zwischen Champeh und Lingeh liegen, ist der Anmarschweg jedoch viel länger und man braucht mit einem Maulesel mindestens zwei anstrengende Tage, um dieses Gebiet zu erreichen.

Der Salzhorst gehört zu den kleineren; sein Durchmesser beträgt 3—4 km, sein Umriß ist unregelmäßig. Er zeigt jedoch sehr interessante tektonische und stratigraphische Eigenheiten. Auch er tritt im zentralen Teil der Antiklinale auf, welche aus den Fars-Schichten besteht. Am Aufbruch sind jedoch nicht allein die Schichten der Fars-Gipsabteilung, sondern auch tiefere Schichten, nämlich oligozäne Kalke und eozäne Mergel und Schiefer beteiligt. Das Auftreten der beiden letzteren ist auf den nördlichen und östlichen Teil beschränkt.

Der zentrale Teil des Salzaufbruches bildet ein schwer zugängliches wildes Gelände. Die Umrahmung dieses Gebietes wird durch die Schichten der Hormuz-Reihe gebildet, die aus rotem Gips und vulkanischen Gesteinen besteht. Die dolomitisch-anhydritische Abteilung der Hormuz-Reihe bildet wie auf der Insel Kishm schwarze Denudationsrelikte, welche dem höchsten Teile des Salzaufbruches aufsitzen. Äußerst verbreitet im Cham-

pehgebiet sind ferner vulkanische Gesteine, welche große Areale bedecken. Es handelt sich hierbei um rhyolithische Laven, welche mit Grünsteinen wechsellagernd auftreten, weiter um graue und grüne vulkanische Breschen und Agglomerate und vielfarbige Tuffe. Durch ihre lebhaften Farben fallen die vulkanischen Gesteine besonders stark in der Landschaft auf. Alle Farbtöne von grün bis olivgrün, meergrün, graugrün, ferner grau, purpur sind vertreten und bilden einen scharfen Kontrast zu dem durch Eisen rotgefärbten Gips und dem blendend weißen Salz. Holokristalline Intrusionsgesteine treten hier in der Hormuz-Reihe auf; sie sind also jünger und fanden bereits Beschreibung in einem früheren Abschnitt.

Der Gips dieser Abteilung ist massig, rot und weiß. Gegen die Basaltregion treten konglomeratische und breschenhafte Gipslagen auf.

Die Schichten der oberen Hormuz-Reihe haben am Rande des Salzstockes senkrechte oder überkippte Lagerung. Sie sind ihrerseits wieder von tertiären Schichten umgeben; die Grenze zwischen beiden ist tektonisch. An dieser Grenze erweist sich das Tertiär stark disloziert; seine Schichten haben ebenfalls senkrechte und überkippte Stellung.

Auch die Ostseite weist interessante tektonische Züge auf. Hier hat jedoch das Salz die hangenden Schichten so durchbrochen, daß das umlaufende Streichen nicht gewahrt blieb. Die Grenze quert vielmehr das Streichen. Dies ist an den eozänen Schiefen, oligozänen Kalken und den Schichten der unteren Fars-Reihe festzustellen. Diese Schichten stoßen am Salzhorst ab. Zunächst folgen sie also in langer Erstreckung der Antiklinale, bis sie auf den Salzhorst treffen. Hier werden sie abgelenkt und aufgerichtet; nachdem sie noch kurze Zeit dem Salzrand entlang verfolgt werden können, brechen sie plötzlich am Salz ab.

7. Der Salzstock von Al Buza.

Dieser Salzstock liegt an der Küste etwa 15 km nordöstlich der Stadt Lingeh. Es ist der größte Salzstock und wegen des sehr ausgedehnten Auftretens der oberen Teile der Hormuz-Abteilung von besonderem Interesse. Der Durchbruch des Salzes konnte nicht beobachtet werden, da dem Verfasser zu wenig Zeit zur näheren Untersuchung zur Verfügung stand. Zweifel-

los dürften spätere Untersuchungen noch das Auftreten des Salzes im zentralen Teile erweisen.

Der Salzhorst besitzt ovalen Umriß und erhebt sich im zentralen Teil einer Antiklinale, welche aus jüngerem Neogen besteht. Sehr gut sind hier, wie schon erwähnt, die oberen Teile der oberen Hormuz-Reihe entwickelt. Sie bestehen aus blaßroten, purpurroten und braunen Sandsteinen, braunen sandigen Kalken und schwarzen Stinkkalken. Intrusionen der gleichen Art, wie sie schon früher beschrieben wurden, treten hier ebenfalls auf. Das verbreitetste Intrusivgestein ist hier Diorit, der aus einer grünen Hornblende, Orthoklas, Plagioklas und wenig Quarz besteht. Die Hornblende ist teilweise stark in rosettenförmige Aggregäte von Chlorit umgewandelt.

8. Der Salzstock von Hamairan.

Dieses Vorkommen liegt ebenfalls an der Küste, etwa 30 km nordöstlich von Lingeh. Er besitzt einen Durchmesser von etwa 6 km, ist also viel kleiner wie der Salzstock von Al Buza. Der Umriß ist rundlich-oval. Wie der Salzstock von Al Buza tritt er im zentralen Teil einer aus jüngerem Neogen bestehenden Antiklinale auf und zeigt ebenfalls eine sehr große Entwicklung der oberen Teile der oberen Hormuz-Abteilung (Sandsteine und Kalke). Die von dem Salzstock von Al Buza gegebene Beschreibung trifft in jeder Hinsicht auch auf das Vorkommen von Hamairan zu.

9. Der Salzstock von Khamir.

Tafel XIII [V].

Er liegt wenige Kilometer westlich des Ortes Khamir und zwischen den Orten Lingeh und Bandar Abbas. Er unterscheidet sich in seinen morphologischen Verhältnissen von allen andern dadurch, daß das Salz weitgehend abgetragen ist und später größtenteils durch alluviale Bedeckung verhüllt wurde. Der Salzstock durchbricht oberkretazische Schichten (Rudistenkalk): Im Norden, Osten und Westen umgibt dieser die Schichten der Hormuz-Reihe in einem unzusammenhängenden halbkreisförmigen Bogen. Im Süden reicht die alluviale Küstenebene bis an den Salzstock heran. Der Rudistenkalk setzt steil gegen die Hormuz-Reihe ab, die Grenze beider ist tektonisch.

Das Salz der Hormuz-Reihe ist nur in den Flußtäälern erschlossen, welche sich durch die alluviale Bedeckung durch-

schneiden. Der Gips der oberen Hormuz-Abteilung ist bei den Schwefelabbauen (Westseite des Salzstockes) gut erschlossen, wo er mächtige Bänke mit eingeschalteten grauen Rhyolithen bildet. Die Schwefelvorkommen sind ähnlich wie die bei Namakdan auf der Insel Kishm und werden wie dort in primitiven Abbauen von den Eingeborenen gewonnen.

Am Südhang der Küstenebene treten mehrere Hügel auf, welche aus vulkanischen Gesteinen der oberen Hormuz-Reihe bestehen. Sie liegen etwa in 1—2 km gegenseitigen Abstandes.

An der Ostseite des Salzstockes, entlang der tektonischen Grenze, zwischen dem Rudistenkalk und der Hormuz-Reihe treten mehrere Thermen auf. Das Wasser ist stark salzhaltig und führt viel Schwefelwasserstoff. Wegen ihrer Heilwirkung sind sie unter den dortigen Eingeborenen, Arabern und Persern, weit berühmt.

IX. Tektonik.

1. Allgemeines: Die orogenetischen Bewegungen.

Die tektonischen Elemente Persiens, sowohl die Brüche wie die Falten, zeigen eine enge Abhängigkeit von dem Streichen der Gebirgsketten. Wir haben es in erster Linie mit einem Faltenzugsgebiet zu tun, dessen Faltenzug als großer Bogen nördlich von Bagdad bis in das südliche Baluchistan zieht. Dieser Bogen — der Zagrosbogen — und die mit ihm verbundenen Gebirgszüge bilden, wie bekannt, einen Teil des alpinohimalayischen Bogens, welcher Europa und Asien durchzieht. Die persischen Gebirgsketten besitzen im allgemeinen ein nordwestliches Streichen. Etwa zwischen dem 27. und 28. Breitengrad biegen sie in eine mehr westnordwestliche Richtung. Diese Umbiegung hält etwa bis an das Gebiet der Insel Kishm und das benachbarte Festland an, wo ein Ost—West-Streichen beginnt, welches mit den Gebirgszügen des südlichen Baluchistan übereinstimmt.

Es wird dem Leser des stratigraphischen Abschnittes in Erinnerung sein, daß lange Zeiträume hindurch, nämlich von der oberen Kreide bis zur Bildung der oberen Fars-Reihe, die Schichtfolge keine Diskordanzen aufweist. Dies setzt natürlich ununterbrochene Sedimentation und tektonische Ruhe von der Oberkreide bis Ende der Fars-Zeit voraus. Dies gilt für ganz Persien. In der Golfregion jedoch ist die Gliederung des Neogens noch

nicht so genau festgestellt wie im Norden. Im Bakhtiaridistrikt und den umgebenden Gebieten, wo die Einzelgliederung des Neogens genauer erforscht werden konnte, läßt sich die erdgeschichtliche Entwicklung besser darlegen (Richardson 1924).

Die ersten Bewegungen machen sich im Frühmiozän (Ende der Asmarizeit) geltend. Wenngleich schwach, bewirken sie doch eine transgressive Lagerung der Fars-Schichten über dem Asmarikalk. Indessen sei hervorgehoben, daß diese transgressive Lagerung so gering ist, daß die Grenze Asmari-Kalk/Fars-Schichten konkordant erscheint. Verfasser hat diese Grenze auf mehrere Hundert Kilometer verfolgt und stets scheinbare völlige Konkordanz in den Aufschlüssen feststellen können. Störungen an der Grenze sind lediglich auf Gleiterscheinungen des Gipses auf dem harten Asmari-Kalk zurückzuführen. Der Hinweis auf Bewegungen und der damit verbundenen transgressiven Lagerung ist nur in dem Verhalten der Mächtigkeiten des Gipses der unteren Fars-Reihe im zentralen Teil des Sedimentationsraumes und dessen randlichen Teilen zu erblicken. Gleichzeitig mit dem Beginn der schwachen Bewegungen am Ende der Bildungszeit des Asmari-Kalkes (und Khamir-Kalkes) erfolgten einschneidende klimatische Änderungen. Während der Trockenzeit der unteren Fars-Abteilung erfolgte die Ausscheidung von Salz, Gips und Anhydrit. Die Einschaltung roter und blauer Mergel im Gips sind auf vorübergehende feuchtere Zeiten zurückzuführen. Das Ende der unteren Fars-Abteilung ist durch das Aufhören der Trockenheit bewirkt. Die mittlere Fars-Abteilung, welche nur an der Basis spärliche Gipseinschaltungen enthält, weist auf mehr marine Sedimentationsbedingungen hin, unter welchen es zur Bildung von Kalksandsteinen, detritischen Kalken, roten und blauen Mergeln kam. In der oberen Fars-Abteilung endlich ist die Herstellung normaler klimatischer Bedingungen vollzogen.

Gegen das Ende der oberen Fars-Zeit vollzog sich im Norden eine Erhebung in größerer Ausdehnung. Die in der Fars-Zeit bereits schwach angelegten Faltenzüge werden weiter entwickelt und es entstehen größere gefaltete Komplexe. Gleichzeitig setzt eine intensive Abtragung an den sich emporhebenden Faltenzügen ein und bewirkte die riesigen Ablagerungen der Bakhtiar-Konglomerate in den tiefer gelegenen Gebieten. Die Bewegungen in der Bakhtiarizeit prägen sich in zahlreichen Dis-

kordanzen der gleichaltrigen Sedimente aus. Am Ende der Bakhtiarizeit (Ende des Tertiärs) setzten noch stärkere Bewegungen ein, durch welche die Bakhtiarischichten gefaltet wurden.

So zeigen sich in Persien, wie es sich im Bakhtiaridistrikt nachweisen ließ, zwei starke Bewegungsphasen, welche beide in das jüngere Neogen (Ende der Fars-Zeit und Ende der Bakhtiarizeit) fallen. Außerdem fanden als Vorläufer schwächere Bewegungen im Frühmiozän statt, und dauernde Bewegungen in der Bakhtiarizeit zwischen den beiden starken Bewegungsphasen.

Die Bewegungsrichtung erfolgt von NO gegen SW. In den nordöstlichen Teilen der höheren Gebirge, wo Kreide und Eozän stärker entwickelt sind, scheint die Faltung intensiver zu sein. Gegen Südwesten zu besitzen die Kalkzüge des niederen Gebirges häufig einen steileren Südwest- und flachen Nordosthang. Noch weiter gegen Südwesten, im Gebiet wo die weichen Schichten der Fars-Reihe vorherrschen, finden wir die Nordostflügel der Antiklinalen normal und sanft, die Südwestflügel dagegen sind flach überschoben und oft durch die überschobenen Stücke höherer gefalteter Teile verdeckt. Bei diesen Bewegungen überfließt der Gips der unteren Fars-Abteilung förmlich die südwestlichen Flügel der zahlreichen Antiklinalen und bedeckt stellenweise die Bakhtiarischichten. Die Überschiebungsflächen sind in diesen Fällen fast horizontal. In der persischen und mesopotamischen Ebene, also noch weiter gegen SW., werden die Falten in dem jüngeren weichen Material immer sanfter und gleichmäßiger.

Wie schon bemerkt, sind in der Golfregion die Bewegungsphasen nicht so klar hervortretend. Doch läßt sich auch hier die lange Ruhezeit von der oberen Kreide bis zur oberen Fars-Zeit feststellen, auf welche im Spätneogen und Postneogen kräftige Bewegungen erfolgten, welche die heute sichtbaren Faltengebirge schufen. Danach erfolgte diskordant die Ablagerung der grobkörnigen quartären Sedimente (Tersai-Schichten) auf die Fars-Schichten. Dies Verhalten stimmt also generell durchaus mit den Verhältnissen überein, wie sie in den nördlichen Teilen Persiens beobachtet wurden.

Durch diese Bewegungen erfolgte in der Golfregion die Auf-faltung der Ostwest-streichenden Antiklinalen und Kuppeln. Ein Blick auf die geologische Karte zeigt ohne weiteres Verteilung und Anordnung.

2. Die Tektonik der Salzstöcke.

Die Gestaltung der oben erwähnten Antiklinalen und Kuppeln erfährt eine Komplikation durch die Salzstöcke. Deren Durchbrechen durch die zentralen Teile der Antiklinalen und Kuppeln als rundliche oder ovale Massen bewirkte starke Störungen der in nächster Nähe des Salzstockes auftretenden Gesteinskomplexe.

Die Bildungszeit der Salzstöcke kann in diesen Gebieten in einigen Fällen sehr genau festgelegt werden. Der Aufbruch erfolgte wahrscheinlich nicht vor Ende des Tertiärs (Pliozän) und dauerte stellenweise noch im Quartär an. Letzteres ist einwandfrei bei Namakdan feststellbar, wo die Tersai-Schichten bei dem Empordringen des Salzes gestört wurden. Es ergibt sich daraus, daß das Aufdringen des Salzes ganz oder fast ganz mit den übrigen tektonischen Bewegungen in diesem Gebiete zusammenfällt.

Bei der Beschreibung der verschiedenen Salzstöcke wurden die einzelnen Eigenheiten eines jeden dargelegt und ihre tektonischen Zusammenhänge mit älteren Schichten erörtert. Es sollen die Salzstöcke nun in ihrer Gesamtheit betrachtet und mit solchen anderer Länder verglichen werden.

a) Die persischen Salzstöcke in dem besprochenen Gebiete werden aus Gesteinen der Hormuz-Reihe aufgebaut. Sie bestehen unten aus Salz, im mittleren Teil aus Dolomit, Anhydrit usw. und oben aus Gips mit Einschaltungen von Erstarrungsgesteinen.

b) Es handelt sich um isolierte Salzmassen von meist ovalem oder rundlichem Umriß.

c) Sie erheben sich stets innerhalb eines ovalen oder rundlichen Kranzes von zerrissenen, senkrecht oder steilgestellten, ja manchmal überkippten Schichten.

d) Die Grenze zwischen der Hormuz-Reihe und der jüngeren Schichten ist stets diskordant und tektonisch.

e) Die Salzstöcke treten stets in den zentralen Teilen antiklinaler Gebiete auf. Die Schichten dieser Antiklinalen zeigen außer in der Umgebung der Salzstöcke die übliche Lagerung. An den Salzstöcken erfolgt plötzliche Aufrichtung oder Überkipfung.

f) Das Auftreten der Salzstöcke ist vom Alter oder Charakter der umgebenden Schichten abhängig. So stößt z. B. die Hor-

muz-Reihe bei Namakdan an die oberen Fars-Schichten, bei Champeh an eozäne Schiefer, bei Khamir an Rudistenkalk.

g) Ganz offensichtlich durchstießen die Salzstöcke oft hangende Schichten von außerordentlicher Mächtigkeit.

Die nähere Betrachtung des obigen beweist, daß die beschriebenen Erscheinungen in den meisten Fällen mit denen der Salzhorste anderer Länder übereinstimmen.

Das Auftreten von großen Mengen von Erstarrungsgesteinen ist eines der charakteristischsten Merkmale unseres Gebietes. Hierbei handelt es sich sowohl um Ergußgesteine wie um Tiefengesteine. Letztere sind jünger als die Hormuz-Schichten; es wurde bereits gezeigt, daß sie jedoch keinesfalls mit der Bildung der Salzstöcke in Zusammenhang gebracht werden dürfen. Die Intrusionstätigkeit in den Hormuz-Schichten war vor dem Absatz der oberkretazischen Schichten vollendet, während der Salzauftrieb erst, wie erwähnt, in das Spättertiär fällt. Tiefengesteine treten auch in den Salzstöcken von Algier auf, doch sagt hier *Grabau* (1920): „Though they are closely associated with igneous activity for none of them has a controlling igneous force been positively demonstrated.“ Die Entstehung der Salzstöcke am persischen Golfe zeigt überzeugend die Unabhängigkeit von Salzhorst und Intrusionstätigkeit, trotz aller Gegenargumente, die immer noch zur Stützung der Ansicht der intrusiven Entstehung der Salzhorste benutzt werden (*Lucas* 1918, *Veatch* 1906, *Coste* 1913, *Hager* 1904).

Die Salzhorste Persiens entstanden durch das Empordringen von Salz aus einer vorkretazischen Formation, wobei der Mechanismus des Aufdringens durch tektonische Bewegungen veranlaßt wurde, welche die plastische Salzmasse in Schwächestellen der Erdkruste, hauptsächlich im Faltengebirge, emportrieben. Das aufdringende Salz hat oben und seitlich die sehr mächtigen jüngeren Hormuz-Sedimente mitbewegt und mitaufgerichtet. Bei einigen der Salzauftriebe stieg das Salz aus großen Tiefen empor. Wenn man zum Beispiel annimmt (und dies kann durchaus geschehen), daß eine vollständige Schichtenfolge von der oberen Kreide bis zur oberen Fars-Reihe den Namakdansalzstock überlagerte, so gelangt man zu dem Schluß, daß das Salz in dieser Gegend eine Schichtenmächtigkeit von 2600 bis 2900 m durchdrungen hat. Diese erstaunliche Zahl stellt annähernd die durch Beobachtung gewonnene Mächtigkeit der

Schichten dar, die über der Hormuz-Reihe in der Golfregion auftreten.

Die Kraft des empordringenden Salzes, sich durch die hangenden Schichten den Weg zu bahnen, wird dem Beobachter überall eindringlich vor Augen geführt. In den Salzhorsten von Champeh und von Khamir jedoch haben diese tektonischen Kräfte noch mehr geleistet. In diesen Gebieten hat das Salz nicht nur, wie schon früher erwähnt wurde, die überlagernden Schichten senkrecht durchstoßen, sondern hat die Schichten auch spitzwinklig geschnitten, so daß sie nun treppen- und stufenförmig am Salzhorst absetzen (vergl. Karte, Tafel X [II]). Infolgedessen begleiten bei Champeh die Eozänschiefer, die Oligozänkalke und auch Teile der Fars-Schichten die Salzmasse nicht ununterbrochen, sondern ihre zerrissenen Enden stoßen scharf an der Salzmasse des Horstes ab.

Das massige Salz der Aufbrüche hat natürlich eine ungewöhnlich starke Deformation erlitten. Durch Eisenverbindungen hervorgerufene leichte Farbbänderungen an Salzschnüren und Lagen lassen die stattgehabten Bewegungen des Salzes erkennen. In Wellen und Falten gelegt, durchziehen diese Bänder in allen Richtungen das Salz. Es wurde bereits das „Fließen“ des Salzes um große Massen jüngerer Schichten erwähnt.

3. Die Lagerungsverhältnisse der Hormuz-Reihe.

Die Betrachtungen über das Salz führen uns wieder zu dem Vorkommen und der Natur der mittleren Hormuz-Reihe (der dolomitisch-anhydritischen Abteilung) und der oberen Hormuz-Reihe (der Gips- und Erstarrungsgesteine-führenden Abteilung). Die zellige Beschaffenheit, der allgemeine Charakter und manche andere Erscheinungen des dolomitischen Kalkes dieser Gruppe zeigen große Ähnlichkeit mit dem porösen, löchrigen, mit Anhydrit durchsetzten dolomitischen Kalk des bekannten Spindle-top-Salzhorstes von Amerika, der von Barton und Paxson (1925) beschrieben wurde. Es ist bemerkenswert, daß die dolomitisch-anhydritische Gruppe in der Gegend des persischen Golfes oft anstehend (als schwarze Denudationsrelikte) direkt über dem Salze lagernd gefunden wurde; nie aber wurde sie zwischen dem Salz und der Gips- und Erstarrungsgestein-führenden Gruppe in situ beobachtet, trotzdem andererseits eine Menge zerbrochener und eckiger Bruchstücke der dolomitischen Kalke an der

Basis der Gips- und Erstarrungsgesteine-führenden Gruppe auftreten. Dies zeigt sehr klar eine weitgehende Lösung und Fortführung des Salzes unter der dolomitisch-anhydritischen Gruppe, wobei ein Nachsinken der harten, widerstandsfähigen Kalksteinbänke stattfand, die dabei zerbrochen und zerstückelt wurden. Eine ähnliche Entstehung werden zweifellos auch viele vulkanische Breschen haben, die in den unteren Teilen der Gips- und Erstarrungsgestein-führenden Gruppe auftreten. Dies führt zu einer weiteren Betrachtung über die obere Hormuz-Gruppe. In vielen Salzaufbrüchen aus anderen Gegenden der Welt liegt über dem Salz Residualgips mit zerbrochenen Gesteinsbruchstücken, die in dem Salze vorkommen; deswegen wird allgemein angenommen, daß sie als unlösbare Rückstände zurückblieben und nun im Gips liegen, während das Salz durch Lösung weggeführt wurde. Obwohl diese Erklärung zweifellos für viele Salzhorste, besonders für die Salzhorste in Deutschland, zutrifft, wäre es doch ein Fehler, diese Erklärungsweise ohne weiteres auf die beschriebenen Erscheinungen in der Gips- und Erstarrungsgestein-führenden und der dolomitisch-anhydritischen Abteilung in meinem Gebiet zu übertragen. Es ist wichtig und muß hervorgehoben werden, daß bei den persischen Salzaufbrüchen das Salz als ein großer, unbedeckter Kern an der Erdoberfläche frei zutage liegt. Die Gips- und Erstarrungsgestein-führende Gruppe liegt nicht wie eine horizontale Deckschicht über dem „Gipfel“ des Salzhorstes, sondern liegt als eine mächtige periphere Gesteinsmasse zwischen dem Salz und den jüngeren Schichten, durch welche die Schichtenfolge der Hormuz-Reihe durchgestoßen wurde. Diese periphere Gesteinsmasse ist von beträchtlicher Mächtigkeit und besteht aus Laven, Tuffen und im Hangenden aus mächtigen Kalken. Die liegenden Teile hingegen setzen sich aus vielen zerbrochenen Gesteinsstücken und Breschen zusammen. Es ist deshalb ganz außer Zweifel, daß die liegenden Teile Residualbildungen darstellen; die ursprünglich vorhandenen Salz- oder Gipsmassen wurden aufgelöst und es blieb eine Anhäufung von zerbrochenen, eckigen, unlöslichen Gesteinsstücken übrig. Diese Anschauung erklärt das Vorhandensein eines Teiles der Gesteine der Residualmasse und erklärt auch weiter das Fehlen der dolomitisch-anhydritischen Gruppe in situ in der direkten Umrandung der Salzstöcke, also zwischen dem Salz und der Gips- und Erstarrungsgesteine-führenden Abteilung. Es muß

indessen daran erinnert werden, daß die Gruppe, ohne Laven und Kalke (also der Gips), annähernd 200 m mächtig ist und daß in einem Falle sogar über 400 m Mächtigkeit gemessen wurde. Das Salz ist, wie wir wissen, außerordentlich rein und es ist infolgedessen schwer, sich vorzustellen, daß eine Gipsmasse von solcher Mächtigkeit nur eine Residualbildung aus Salz sein soll. Die Menge des aufgelösten Salzes, welches nötig wäre, eine so mächtige Gipsmasse als Lösungsrückstand zu erklären (wobei ja, wie das Vorhandensein des Salzes zeigt, nicht einmal das ganze Salz, sondern nur seine höheren Lagen zur Lösung gelangt sein konnten!), erscheint doch unwahrscheinlich groß. Nimmt man z. B. einen schon sehr hohen Prozentsatz von 5% von Kalziumsulfat im Salz an, dann müßte eine 4000 m mächtige Salzmenge in Lösung gehen, um 200 m Residualgips zu erzeugen. Tatsächlich enthält aber das persische Salz weniger als 2% von Verunreinigung durch alle anderen Salze.

Da weiter der Gips stellenweise scheinbar gut geschichtet und rein weiß ist, so dürften diese Eigenschaften ebenfalls für eine primäre Bildung sprechen. Um nicht in den Fehler zu verfallen mit einer einzigen Erklärung, die nur einem Teil der Erscheinungen gerecht wird, das Ganze erklären zu wollen, so glaube ich wohl in der Annahme nicht fehl zu gehen, daß die unteren Schichten der Gruppe, die den Charakter von Residualbildungen haben, durch Auflösung des darunterliegenden Salzes entstanden sind; der Gips in seiner Gesamtheit aber stellt eine primäre Bildung dar¹, die über der mittleren Hormuz-Reihe erfolgte. Um es kurz noch einmal zusammenzufassen: Gegen die Entstehung der oberen Hormuz-Reihe als eine Residualbildung des Salzes sprechen:

1. die große Mächtigkeit der Gipsmasse;
2. die chemische Reinheit;
3. die allgemeine Natur der Ablagerung;
4. die Tatsache, daß eine wohlumschriebene Schichtfolge — nämlich die mittlere Abteilung der ganzen Gruppe, die aus dolomitischen Kalken, Sandsteinen und Anhydrit besteht — zwischen dem scharf getrennten Salz unten und der ebenso scharf abge-

¹ Es bleibe übrigens dahingestellt, ob es sich beim ersten Absatz wirklich um Gips oder nicht vielleicht um Anhydrit handelt, der später in Gips überging.

grenzten Gips-Erstarrungsgesteine-führenden Gruppe oben eingeschaltet ist. Überdies sind ähnliche Ablagerungen von Gips, dolomitischem Kalk und Anhydrit in einer bestimmten Schichtenfolge auch für viele andere Salzhorste der Welt, besonders Amerika, sehr charakteristisch.

Der Spindle-top Salzhorst Amerikas z. B. hat einen mächtigen „Hut“ von Gips, Anhydrit und dolomitischem Kalk von über 230 m Mächtigkeit. Nachdem Barton und Paxson (1925) die verschiedenen Hypothesen, die zur Erklärung dieser Bildungen aufgestellt wurden, diskutiert hatten, kommen sie zum Schlusse, daß von allen erklärenden Theorien „a residual theory seems to be the least probable.“

4. Die Frage des Salzauftriebes.

Die Frage nach dem Auftriebe des Salzes, sein Vermögen die oft mächtigen hangenden Schichten zu durchbrechen, um zur heutigen Ortsstellung zu gelangen, bietet ein weites Feld für spekulative Betrachtungen und Erörterungen. Am besten und eingehendsten sind die deutschen Salzhorste erforscht und eine umfangreiche Literatur beschäftigt sich mit ihrer Entstehung und ihrem Aufbau. Gut erforscht sind ferner die Salzhorste Rumäniens und anderer europäischer Länder, auch die Salzhorste von Texas, Louisiana und Mexiko bieten viele Vergleichsmomente. Als neues Gebiet, wo viele Salzhorste auftreten, kommt nun der persische Golf hinzu; hier wird die Beobachtung durch die Vegetationslosigkeit und das vielfache Fehlen von Verwitterungsböden zudem erheblich erleichtert. Es empfiehlt sich deshalb, diese Vorkommen unter möglichst verschiedenen Gesichtspunkten zu betrachten.

Die Diskussion, welche sich an die Frage der Entstehung der Salzhorste knüpfte, enthielt Betrachtungen, welche z. T. auf sehr verschiedenartigen Annahmen beruhen. Wir können gleich mit zwei Theorien beginnen, wovon die eine annimmt, daß es sich bei den Salzhorsten um primäre Bildungen handelt, die andere, daß die Salzhorste das Ergebnis vulkanischer Kräfte sind. Diese Annahmen finden heute nur noch ganz wenige Vertreter. Die zweite Annahme (vulkanische Kräfte) knüpft an die alten Anschauungen der „Vulkanisten“ an (wie L. von Buch, Karsten, Hoffmann, Charpentier), deren geschichtliche Stellung durch Lachmann (1911) ausführlich er-

örtert wurde. Die erste Annahme (Salzstöcke als primäre Bildungen) wird von Hilgard (1881) und Lerch (1893) vertreten, welche in den Salzstöcken eine ungestörte Sedimentationsbildung sehen wollen. Manche diese alten Anschauungen tauchten aber wieder in jüngster Zeit auf. So betrachtet Norton (1915) die Salzhorste als primäre Thermalabsätze von Travertin und Salz, Kennedy (1917) sieht in ihnen thermale Salzabsätze in ehemaligen Seen. Solche Ansichten sind gänzlich unhaltbar und bedeuten, wie Rogers (1918) hervorhebt, einen Rückschritt. Als veraltet können auch die in den letzten Jahren in der amerikanischen Literatur vertretenen Anschauungen betrachtet werden, welche vulkanische Kräfte verschiedenster Art als Kraftquellen heranziehen wollen (Coste 1903, Hager 1904, Veatch 1906 und Lucas 1918). Auch sie bedeuten einen Rückschritt.

Eine andere Annahme glaubt an Absatz durch heiße Quellen, Auskristallisation zusammen mit Volumvergrößerung (Harris 1909).

Nach Lachmann (1910, 1913) sind Lösungserscheinungen, Auskristallisierung, Volumvergrößerung und isostatischer Auftrieb die hebenden Kräfte.

Arrhenius (1912) legt das Hauptgewicht auf das verschiedene spezifische Gewicht.

Harbord (1910—1913) zieht die Plastizität, Isostasie und einen tektonischen Impuls heran.

Stille endlich (1911—1922) betont, daß die normale tektonische Beanspruchung unter genügend hohem Druck und Temperatur eine Plastizität aller Sedimente und erst recht des Salzes bewirkt, die in den Salzhorsten ihren Ausdruck findet.

Viele amerikanische Geologen folgen der Auffassung von Harris (1909), welcher die Bildung der Salzhorste durch das Aufdringen heißer salzhaltiger Wässer erklärt. Nach ihm steigt das Wasser unter hydrostatischem Druck an Schwächestellen der Erdrinde auf und kühlt sich auf seinem Wege gemäß der geothermischen Tiefenstufe ab (1° bei 33—34 m)¹. Aus der schon bei hoher Temperatur gesättigten Lösung scheidet sich bei der Abkühlung das Salz aus. Bei der Auskristallisation fand Ausdehnung statt, welche Harris (gestützt auf die von Becker ausgeführten Versuche über die Kristallisationskraft) für ge-

¹ Harris nimmt $27\frac{1}{2}$, m an.

nügend ansieht, um Schichten von mehr als 1500 m Mächtigkeit zu haben. Die Schwäche dieser Theorie wurde durch Lachmann (1911), Rogers (1918) und andere gezeigt; sie kann auch in der Tat nicht dem Tatsachenmaterial gerecht werden. Eine Modifizierung der Anschauungen von Harris, welche jedoch die gleichen Voraussetzungen besitzt, findet sich bei Washburne (1914) und Mills und Wells (1917); indessen lassen sich die gleichen Einwände erheben, welche sich gegen die Annahme der geringen Veränderungen der Salzlösungen bei sinkender Temperatur und Druck, dem wenig glaubhaften Bildungsanteil von Salzlösungen an Salzhorsten und das in dem Zusammenhang gar nicht erklärliche Auftreten von Anhydrit, Gips und Dolomit richten.

Lachmanns Theorie (1911, 1912) weicht erheblich von den Anschauungen von Harris ab. Er rechnet vor allem mit chemischen Vorgängen, der Rekristallisation und Volumvergrößerung in dem vorhandenem Salz im Zechstein. Harris dagegen glaubt an Salzlösungen, die aus großen Tiefen aufsteigen, also ihr Salz erst mitbrachten.

Der modus operandi ist also in beiden Annahmen durchaus verschieden. Lachmann beschäftigt sich vor allem mit den chemischen Umsetzungen in den Salzen, dem Verlust an Kristallwasser usw.; letzterer wäre nach seiner Auffassung durch die Temperatur bedingt, welche das Zechsteinsalz gemäß seiner Tiefenlage besitzt. Hieraus folgen Volumänderungen und Deformierungen im Salz. Dabei erfolgt ein Transport des Salzes nach den Stellen des geringeren Druckes. Dieser durch die im Salzhorste liegenden Kräfte bewirkte Auftrieb wurde als „autoplast“ bezeichnet. Die Salzhorste selbst werden „Ekzeme“ genannt, da sie gewissermaßen mit Geschwüren in den tierischen Geweben vergleichbar sind.

Lachmann verband weiter die Vorstellung von diesen völlig atektonischen autoplasten Bewegungen mit der von Arrhenius (1912) ausgesprochenen Annahme eines ausschließlich durch isostatische Kräfte bewirkten Auftriebes. Arrhenius weist dabei auf die verschiedenen spezifischen Gewichte der Gesteine hin (Salz 2,16, Kalke, Sandsteine und die verbreiteten mesozoischen Gesteine 2,4—2,6). Wengleich die Theorien von Lachmann und Arrhenius nicht ohne weiteres abgelehnt werden

dürfen, so muß doch betont werden, daß sie viele andere Erscheinungen nicht erklären können. Warum verharrte z. B. das Hormuz-Salz so lange Zeiten ruhig unter den Deckschichten, bis es endlich, wie der Namakdan-Salzhorst zeigt, erst im Spättertiär zum Auftriebe gelangte? Ist es Zufall, daß der Auftrieb gerade mit den sonstigen tektonischen Bewegungen zusammenfällt? Dieses und noch anderes wird durch die später noch zu besprechenden Theorien besser erklärt.

Die Untersuchungen von Milch (1909), Adams 1910) und Rinne (1904) lehrten uns das plastische Verhalten von Salz unter verschiedenen physikalischen Bedingungen.

Wir wissen, daß schon bei relativ niedriger Temperatur (200⁰) Salzkristalle leicht deformierbar sind und zu dem gleichen Ergebnis gelangt man auch mittelst verhältnismäßig geringer Drucke. Die Anwesenheit von Wasser erhöht die Plastizität sehr stark. Durch alle diese Faktoren erhält das Salz den Charakter eines hochmobilen Materiales, welches man bis zu einem gewissen Grade mit dem Magma vergleichen kann, wie das Harbort (1913), Stille (1922) und andere taten.

Diese wichtige Eigenschaft der hohen Plastizität verbunden mit tektonischen und isostatischen Bewegungen bilden die Grundlage für Harborts (1910—1913) Erklärungen der Salzhorste. Auf der anderen Seite sieht Stille im plastischen Verhalten und dem tangentialen Faltungsdruck die Hauptursache. Nach des Verfassers Ansicht sind dies die beiden einzig in Betracht kommenden Theorien, welche nun in ihrer Anwendbarkeit auf die Salzstöcke des persischen Golfes geprüft werden sollen.

Kurz gefaßt geht Harbort's Auffassung bezüglich der Entstehung der deutschen Salzhorste dahin, daß bei den saxonischen Bewegungen das weichere Salz stärker als die härteren anderen Sedimente beansprucht wurde; der eigentliche Auftrieb jedoch erfolgte isostatisch. Die Ursache hierfür ist in dem Druck der hangenden Schichten zu sehen, durch welche das Salz in Spalten und Dehnungsregionen, wie in antiklinale Räume, gepreßt werde, gleich wie dies bei dem Magmaauftrieb stattfinden soll. Doch bevor die Anwendung der Harbort'schen Auffassung für die Salzhorste des persischen Golfes erörtert wird, erscheint es zweckmäßig, die Anschauungen Stille's (1911—1922) zu besprechen.

Stille's Arbeiten zeigen, daß an sich eingehende und geistreiche Theorien, die an kleinen Gebieten gewonnen wurden, doch schwere Irrtümer enthalten können und daß die Gesamterklärung einer Erscheinung möglichst große Untersuchungsgebiete zum Beweis erfordert, wobei das Einzelne immer wieder in seiner Beziehung zur Gesamtheit betrachtet werden muß. Diese Forderung fand Verfasser immer wieder gerade bei den erstmaligen geologischen Untersuchungen in unbekanntem Teilen Asiens gerechtfertigt. Stille zeigte, daß der Salzstock nicht eine exzeptionelle Bildung darstellt, welche etwas grundsätzlich anderes als das ungestörte Salzlager ist. Er zeigte die vermittelnden Erscheinungen von den schwach geneigten Salz-führenden Schichten südlich des Harzes über die Salzantiklinalen von Hannover bis zum fertigen Salzhorst. Hierbei wies er nicht allein auf die morphologische Umgestaltung, sondern auch auf die Beziehungen zu dem Ausmaß der tektonischen Kräfte hin. Die leicht geneigten Salz-führenden Schichten treten in Gebieten der schwachen postvariszischen Bewegung auf, die Salzhorste in Gebieten mit starker postvariszischer Tektonik. Die Salzantiklinalen finden sich in den dazwischen gelegenen Gebieten, wo sich also auch ein Wechsel in der Intensität der tektonischen Bewegung geltend macht. Diese Feststellung erfuhr später eine Bestätigung durch den Nachweis, daß in Salzhorstgebieten Auftrieb und tektonische Bewegungen zeitlich zusammenfallen. Stille's Vergleich (1922) zwischen Salztektonik und Vulkanismus ist ebenfalls von Bedeutung. Er betrachtet die Salztektonik als einen Fall der Tektonik mit mobilem Material, welcher zwischen der Intrusionstektonik und der normalen Falten tektonik steht.

Die durch Stille aufgestellte Beweisführung erscheint völlig unantastbar und vollständig. Sie beginnt mit dem einfachen ungestörten Salzlager und endet bei dem fertigen Salzhorst, wobei Intensität und zeitlicher Ablauf der tektonischen Kräfte mit den beobachteten Erscheinungen in Übereinstimmung gebracht werden kann. Sehr glücklich erscheint ferner der Vergleich zwischen dem plastischen Salz und dem intrudierenden Magma. Die Einzelercheinungen der Salztektonik werden somit als Erscheinungen der Normaltektonik betrachtet, wobei der Unterschied nur in dem beanspruchten Material liegt. Die logische und geschlossene Erklärung Stille's ist ohne weiteres auch für die Salzhorste Persiens zutreffend. Keine einzige Beobachtung

wurde gemacht, die etwa im Gegensatz zu Stille's Anschauungen steht, im Gegenteil spricht alles für sie. Die lange tektonische Ruhe in Persien (von der Oberkreide bis in das Spättertiär) wird von zwei lebhaften orogenetischen Phasen abgelöst, von der die erste in das Neogen, die zweite Ende Neogen fällt. Die Verhältnisse am Salzhorst von Namakdan zeigen ganz klar eine eindeutige zeitliche Beziehung zwischen Tektonik und Salzauftrieb.

Durch langjährige Untersuchungen wurde in Deutschland das Salzhorstproblem geklärt. Dem Verfasser stand für die Untersuchungen der Salzhorste am persischen Golf nur kurze Zeit zur Verfügung. Doch genügte dies doch zur Feststellung, daß, wie bereits erwähnt wurde, keine Beobachtung gegen Stille's Annahme spricht. Alles spricht dafür, daß die Salzhorste dieses Gebietes das Ergebnis normaler tektonischer Vorgänge sind, welche den bekannten orogenetischen Zeiten angehören. Bis zum Beweis des Gegenteils haben diese Anschauungen als Grundlage für alle weiteren Untersuchungen in diesem Gebiete zu dienen.

X. Verzeichnis der zitierten Literatur.

1859. Carter, „Report on Geological specimens from the Persian Gulf“. Calcutta.
1873. Blanford W. F., „Geology of Persia“. London.
1881. Hilgard E. W., „On the Geology of lower Louisiana and the Rock Salt deposits of Petit Anse Island“. Smithsonian Contributions. Vol. 23.
1893. Lerch O., „A preliminary report upon Hills of Louisiana“. Louisiana State Exp. Sta. Geology and Agr. Vol. 1 and Vol. 2.
1903. Coste E., „Volcanic origin of natural gas and petroleum“. Canadian. Min. Inst. Journal. Vol. 6.
1904. Hager L., „Mounds of the Southern Oilfields“. Eng. and Min. Journal. July.
1904. Rinne F., „Plastische Umformung von Steinsalz und Sylvin unter allseitigem Druck“. N. Jahrb. f. Min., Bd. 1.
1906. Veatch A. G., „Geology and underground Water Resources of N. Louisiana and S. Arkansas“. U. S. Geol. Survey. Paper 46.
1907. Harris G. D., „Rocksalt in Louisiana“. Louisiana Geol. Survey. Bull. 7.
1908. Pilgrim, „Geology of Persian Gulf and adjoining portions of Persia and Arabia“. Memoirs of the Geol. Survey of India. Calcutta. Vol. XXXIV.
1909. Milch L., „Über Zunahme der Plastizität bei Kristallen durch Erhöhung der Temperatur“. N. Jahrb. f. Min.
1909. Harris G. D., „The Geological occurrences of rocksalt in Louisiana and East Texas“. Econ. Geology. Vol. 4.
1910. Harbort E., „Zur Geologie der hannoverschen Salzhorste“. Monatsberichte d. deutsch. geol. Ges. Bd. LXII.
1910. Adams F. D., „An experimental investigation into the action of differential pressure on certain minerales and rocks employing the process suggested by Prof. Kick“. Journal of Geology. Vol. 18.
1911. Stille H., „Das Aufsteigen des Salzgebirges“. Zeitschr. f. prakt. Geologie. Bd. XIX.
1911. Harbort E., „Richard Lachmann's Salzgeschwüre“. *ibid.* LXII.

- 1911—1912. Lachmann R., „Der Salzauftrieb“. Bd. 1, 1911. Bd. 2, 1912.
1912. Arrhenius S., „Zur Physik der Salzlagerstätten“. Meddelanden fran k. Vetenskabsakademiens Nobelinstitut. II, Nr. 20.
1912. Arrhenius S. und Lachmann R., „Die Phys.-Chem. Bedingungen bei der Bildung der Salzlager und ihre Anwendung auf geologische Probleme“. Geol. Rundschau. Bd. III.
1912. Hahn F. F., „The form of salt deposits“. Econ Geology. Vol. 7.
1913. Harbort E., „Zur Frage der Aufpressungsvorgänge und des Alters der nordwestdeutschen Salzvorkommen“. Kali. Heft 5.
1914. Washburne C. W., „Chlorides in oilfield waters“. Inst. Min. Eng. No. 48.
1915. Norton E. G., „Origin of Salt Domes“. Amer. Inst. Min. and Eng. Bull. 97.
1917. Mills und Wells, „The evaporation of water at depth by Natural gases“. Washington Acad. Journal. Vol. 7.
1917. Stille H., „Injectivfaltung und damit zusammenhängende Erscheinungen“. Geol. Rundschau. Bd. VIII.
1917. Kennedy W., „Coastal salt domes“. S. W. Assoc. Pet. Geologists. Bull.
1918. Rogers C. S., „The intrusive origin of the Gulf coast Salt domes“. Econ. Geology. Sept.
1918. Lucas A. F., „Possible existence of deep seated oil deposits on the Gulf Coast“. American Inst. Min. Eng. Bull. 139.
1920. Grabau A. W., „Principles of Salt deposition“.
1922. Stille H., „Normaltektonik, Salztektonik und Vulcanismus“. Zeitschrift Deutsche Geol. Gesellsch. Bd. LXXIV.
1924. Richardson R. K., „Geology and Oil Measures of South West Persia“. Inst. Pet. Technologists. London. Vol. 10.
1925. Barton und Paxson, „Spindletop Dome and Oilfield, Texas“. Bull. Amer. Assoc. Pet. Geologists. Vol. 9.
-

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Vorwort	375—376
II. Überblick über die bisherigen Arbeiten im Gebiete des persischen Golfes	376—377
III. Die geographische Lage, das Klima und die Topographie des untersuchten Gebietes	378
IV. Einführende Bemerkungen zur Stratigraphie	379—381
V. Stratigraphie	381—396
1. Die Khamir-Gruppe	381—382
2. Die Hormuz-Reihe	382—390
3. Die Intrusivgesteine, welche älter als die obere Kreide, jedoch jünger als die Hormuz-Reihe sind	390—391
4. Der Rudistenkalk (obere Kreide)	391—392
5. Das Eozän	392—393
6. Das Oligozän (Khamir-Kalk)	393—394
7. Das Neogen (Fars-Reihe)	394—396
8. Das Quartär (Tersai-Reihe)	395
VI. Vergleich der Schichtfolge im persischen Golfe und anderer Teile von Persien	396—398
VII. Beschreibung der geologischen Profile	398—401
VIII. Die Salzhorste	401—408
1. Allgemeines	401—402
2. Der Salzstock der Hormuz-Insel	402—403
3. Der Salzstock der Kishm-Insel	403—404
4. Der Salzstock der Henjam-Insel	404—405
5. Der Salzstock bei Bostaneh	405
6. Der Salzstock von Champeh	405—406
7. Der Salzstock von Al Buza	406—407
8. Der Salzstock von Hamairan	407
9. Der Salzstock von Khamir	407—408
IX. Tektonik	408—421
1. Allgemeines	408—410
2. Die Tektonik der Salzstöcke	411—413
3. Die Lagerungsverhältnisse der Hormuz-Reihe	413—416
4. Die Frage des Salzauftriebes	416—421
X. Literaturverzeichnis	422—423

Abbildungen.

Tafel I. Fig. 1: Der Salzstock auf der Insel Kishm. Fig. 2: Die Hormuz-Reihe auf der Insel Kishm.

- „ II. Geologische Karte des südöstl. Teiles des persischen Golfes.
- „ III. Profil durch den östlichen Teil des Salzstockes von Kishm.
- „ IV. Profil durch den östlichen Teil des Salzstockes von Champeh.
- „ V. Profil durch den Salzstock von Khamir.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des Naturhistorisch-medizinischen Vereins zu Heidelberg](#)

Jahr/Year: 1922-1927

Band/Volume: [15](#)

Autor(en)/Author(s): Richardson R. K.

Artikel/Article: [Die Geologie und die Salzdome im südwestlichen Teile des persischen Golfes 375-424](#)