

# Modellversuche zur Nachbildung von Salzstrukturen

Dietrich Heye

D-3 Hannover, Stilleweg 33

## ZUSAMMENFASSUNG

Zur modellmäßigen Nachbildung der Verhältnisse einer instabilen Schichtung—wie es den Bedingungen bei der Salzstrukturbildung entspricht—wurden viskose Flüssigkeiten unterschiedlicher Dichte benutzt. Dabei ließ sich der Ablauf halokinetischer Vorgänge in folgenden Punkten nachbilden:

- a) Erzeugung von Salzmauer oder Einzeldiapiren je nach Form der vorgegebenen Störung.
- b) Ausbildung von Generationsfolgen bei Salzmauern oder von ringförmig angeordneten Familien von Einzeldiapiren.
- c) Experimentell wurde der sogenannte Wanderungseffekt bestätigt, der auf Grund von Modellrechnungen bereits vorhergesagt war. Dabei handelt es sich um eine Neigung von Tochttersalzstöcken zum Muttersalzstock hin.
- d) Es konnte experimentell bestätigt werden, daß der mittlere Abstand von Strukturen von der primären Mächtigkeit der Modellsalzschieht abhängt.
- e) Durch kleine Gasblasen läßt sich im Salz und im Sediment eine Schichtung erzeugen, die sich beim Aufstieg des Diapirs verfolgen läßt.

Die Modellexperimente sind in ihren Abläufen photographisch in Diaserien festgehalten und die Resultate dadurch optisch belegt.

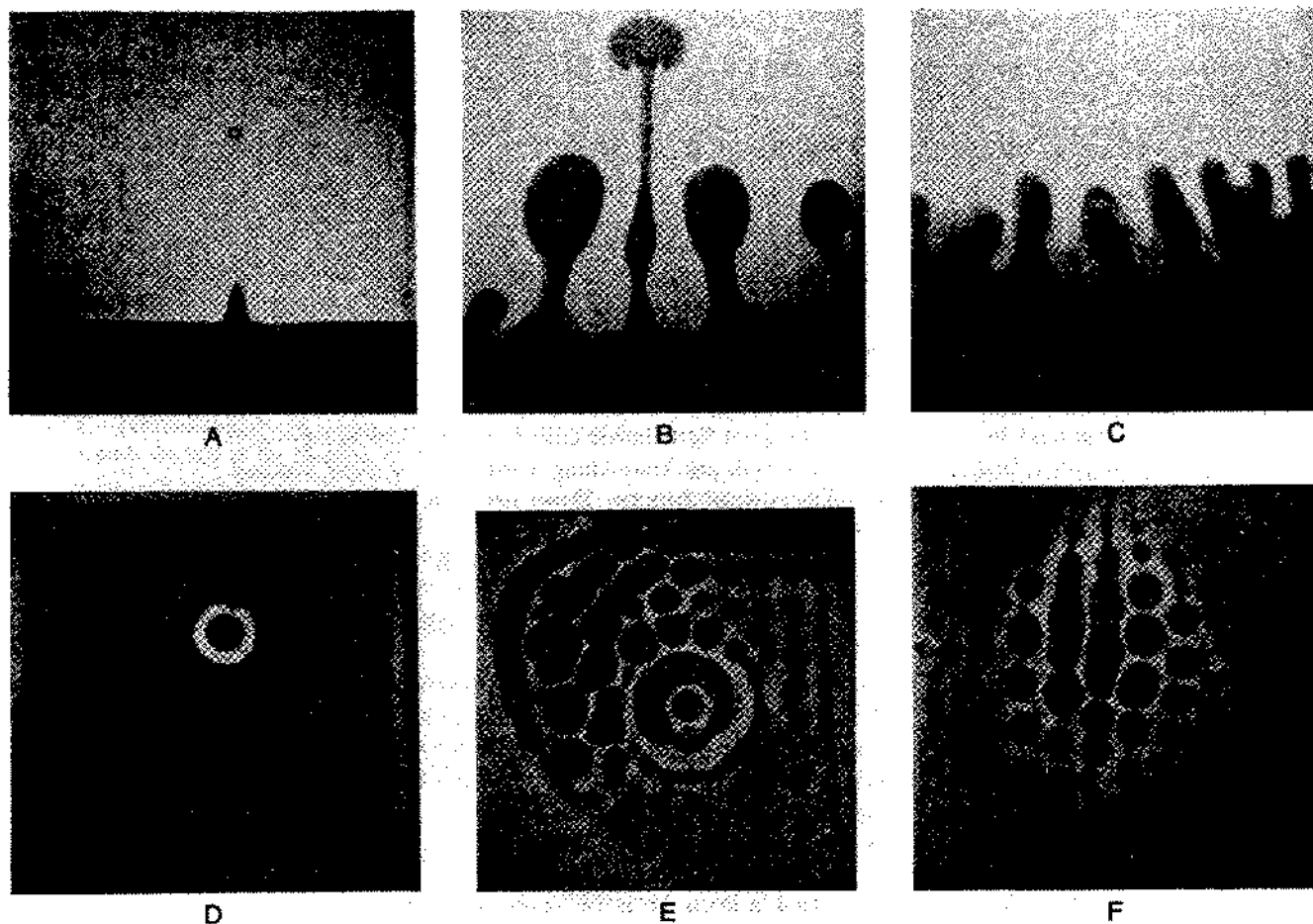
Aus geophysikalischen Untersuchungen kennt man zahlreiche Salzstrukturen Norddeutschlands (siehe Fig. 1, nach Jaritz, 1973). Dabei unterscheidet man im Norden sogenannte Salzmauern und südlich davon einzelstehende runde Salzstöcke. Bemerkenswert ist dabei der gleichmäßige Abstand der Strukturen im Norden, der nach Süden im Bereich der Salzstöcke kleiner wird. Die Entstehung der Salzstrukturen ist von Trusheim (1957) in der sogenannten Halokinese beschrieben worden, wobei von einer instabilen Materialschieht ausgegangen wird, die zeitlich nicht beständig ist. Das leichtere Salz versucht nach oben zu gelangen und bildet dabei die bekannten Salzstrukturen.

Im folgenden werden Modellversuche beschrieben, mit denen die Verhältnisse experimentell nachgeahmt werden. Ähnliche Versuche wurden bereits von Ramberg (1968) und von Hunsche (1977) durchgeführt. In diesen Experimenten werden sowohl das Salz als auch das überdeckende Sediment durch viskose Flüssigkeiten nachgebildet. Das ist zulässig, da sowohl für das Salz als auch für die Sedimentschichten eine Plastizität in geologischen Zeiträumen angenommen werden kann. Diese Fragen sind von Hunsche (1977) ausführlich diskutiert worden.

Mit den hier benutzten Materialien konnte bei den Ver-



Figur 1. Die Salzstrukturen NW-Deutschlands nach Jaritz (1973).



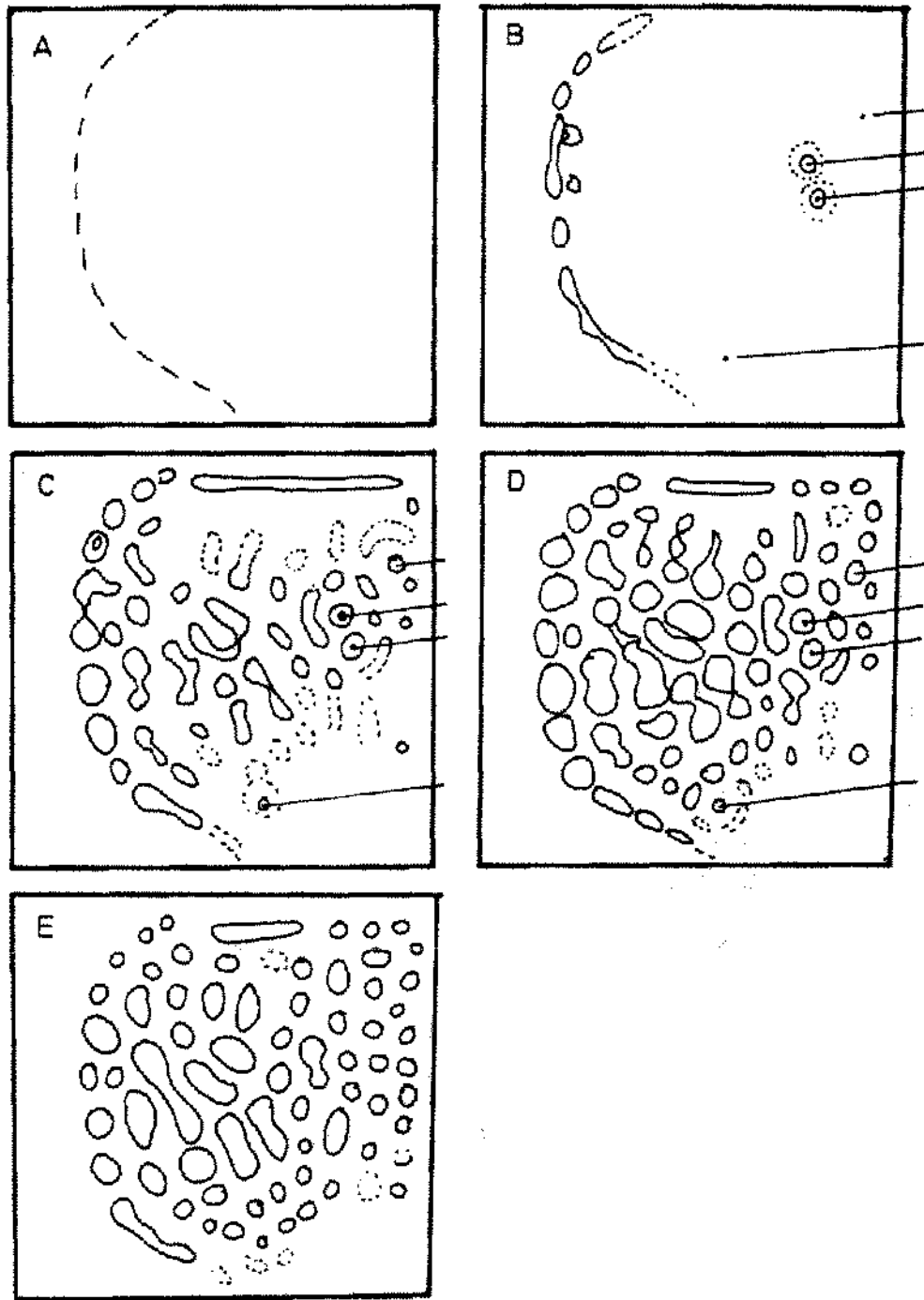
**Figur 2.** Farbfotos mit Beispielen der Modellversuche. In den Fotos 2A, 2B und 2C befindet sich der Modellkasten in vertikaler Versuchsanordnung. Eine aufsteigende Luftblase (Fig. 2A) wirkt als Anfangsstörung und erzeugt an dieser Stelle einen Modelldiapir, der eine sekundäre und tertiäre Generationsfolge auslöst (Fig. 2B).

In Fig. 2C ist ein Experiment ohne auslösende Luftblase wiedergegeben. Ohne eine vorgegebene Anfangsstörung kann sich keine Generationsfolge ausbilden. Die Gebilde entstehen zeitlich verzögert und zwar in einem geringeren Abstand und haben alle einen vergleichbaren Entwicklungsstand.

In den Fig. 2D, 2E und 2F befindet sich der Modellkasten in horizontaler Anordnung. Eine kleine Luftblase erzeugt auch in Fig. 2D eine Anfangsstörung, um die herum sich in diesem Falle eine kreisförmige Folgestruktur bildet. Die Ränder des Modellkastens stellen ebenfalls eine Störung dar, und parallel dazu bilden sich linienförmige Folgestrukturen aus, die den Salzmauern NW-Deutschlands vergleichbar sind.

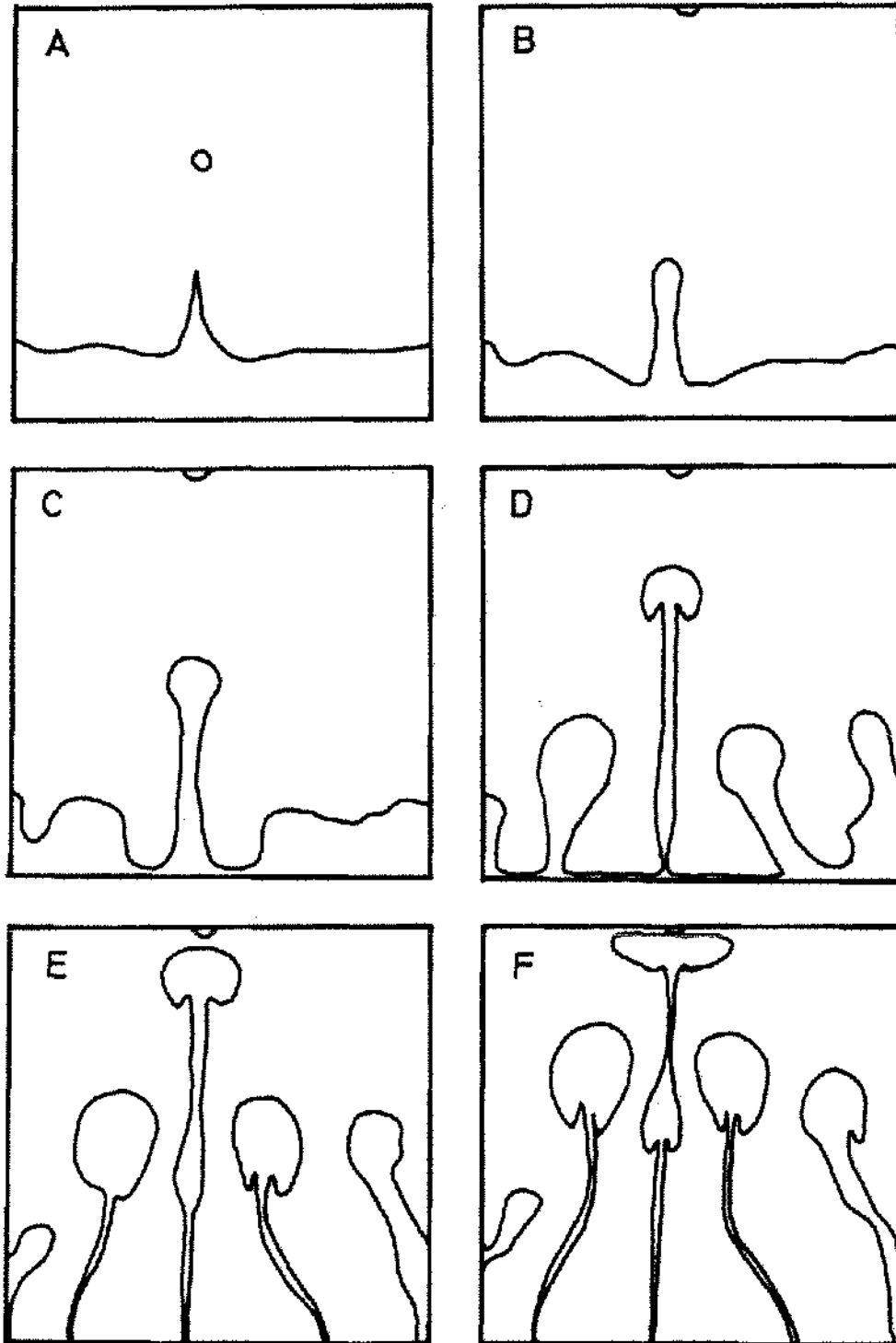
In Fig. 2C war nur eine dünne Modellsalzschicht vorgegeben. Die Ränder des Modellkastens, eine Luftblase und der Rand der Modellsalzschicht wirken als Anfangsstörungen, zu denen Folgestrukturen entstehen. Da nur eine relativ dünne Modellsalzschicht vorgegeben war, reißen die "Salzmauern" teilweise in "Einzeldiapire" auf.

In Fig. 2F wurde mittels Bestrahlung durch einen Schlitz mit einer 500 W Lampe eine linienförmige Anfangsstörung erzeugt, deren Lage durch einen Farbstrich markiert ist. Parallel zu dieser Anfangsstörung bilden sich zu beiden Seiten 2-4 Folgegenerationen aus. Da auch in diesem Falle wenig Modellsalz vorhanden war, reißen die zunächst gebildeten "Salzmauern" auch wieder in "Einzeldiapire" auf. Es läßt sich erkennen, daß mit abnehmender Dicke der Modellsalzschicht der Abstand zwischen den Generationsfolgen ebenfalls abnimmt.

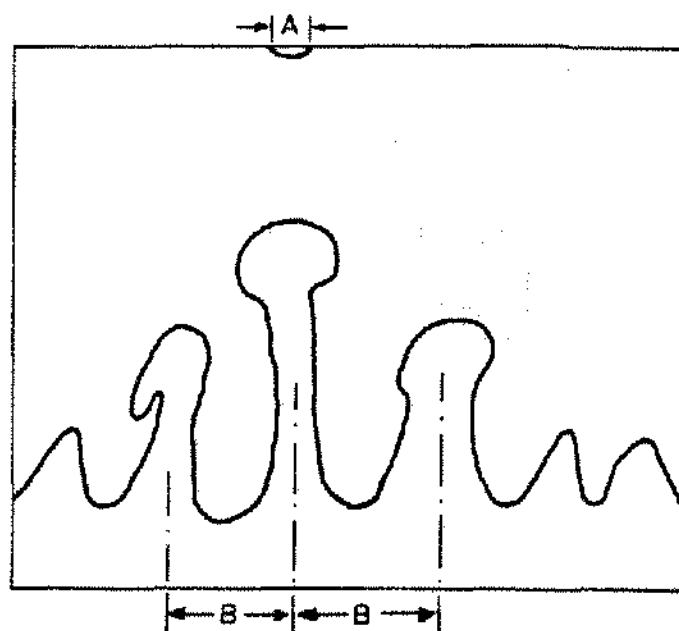
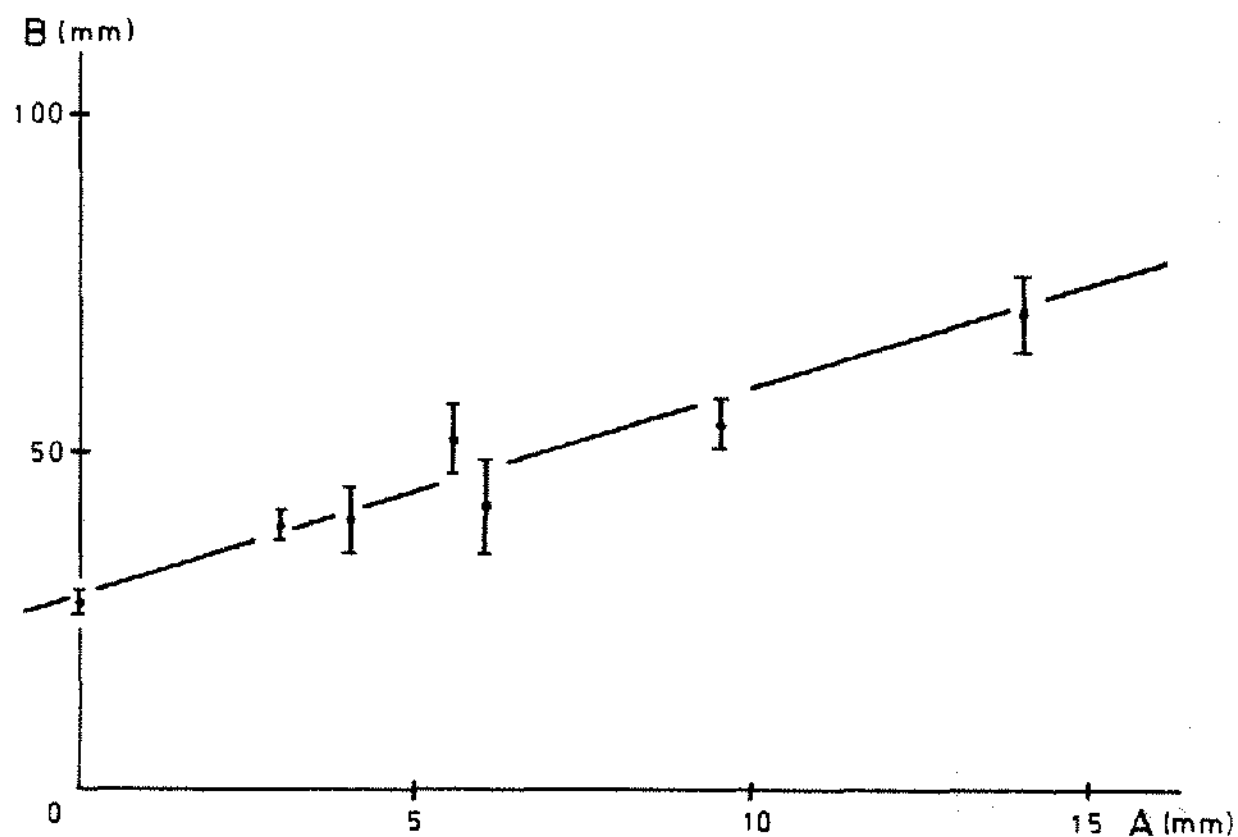


**Figur 3.** Der Modellkasten befindet sich in horizontaler Anordnung und im rechten Teil ist eine dünne Modellsalzschicht vorhanden, deren linker Rand durch eine unterbrochene Linie im Abbildungsteil A markiert ist. Zwei kleine Luftblasen und zwei andere zufällige Zentren wirken als Anfangsstörung und um sie herum bildet sich ein Kreis von Folgegebilden aus (B–D). Parallel zu dem oberen Rand entsteht eine "Salzwand" (C), die aber aus Mangel an Material in Einzelgebilde aufreißt (C–E). Auch der linke Rand der Modellsalzschicht wirkt als Anfangsstörung und wird ebenfalls durch eine Reihe von Modelldiapieren markiert. Betrachtet man nun den Endzustand der entstandenen Strukturen (E), so kann —wie auch bei den Salzstrukturen in Fig. 1— nicht mehr sicher entschieden werden welche Gebilde primär und welche sekundär entstanden sind.

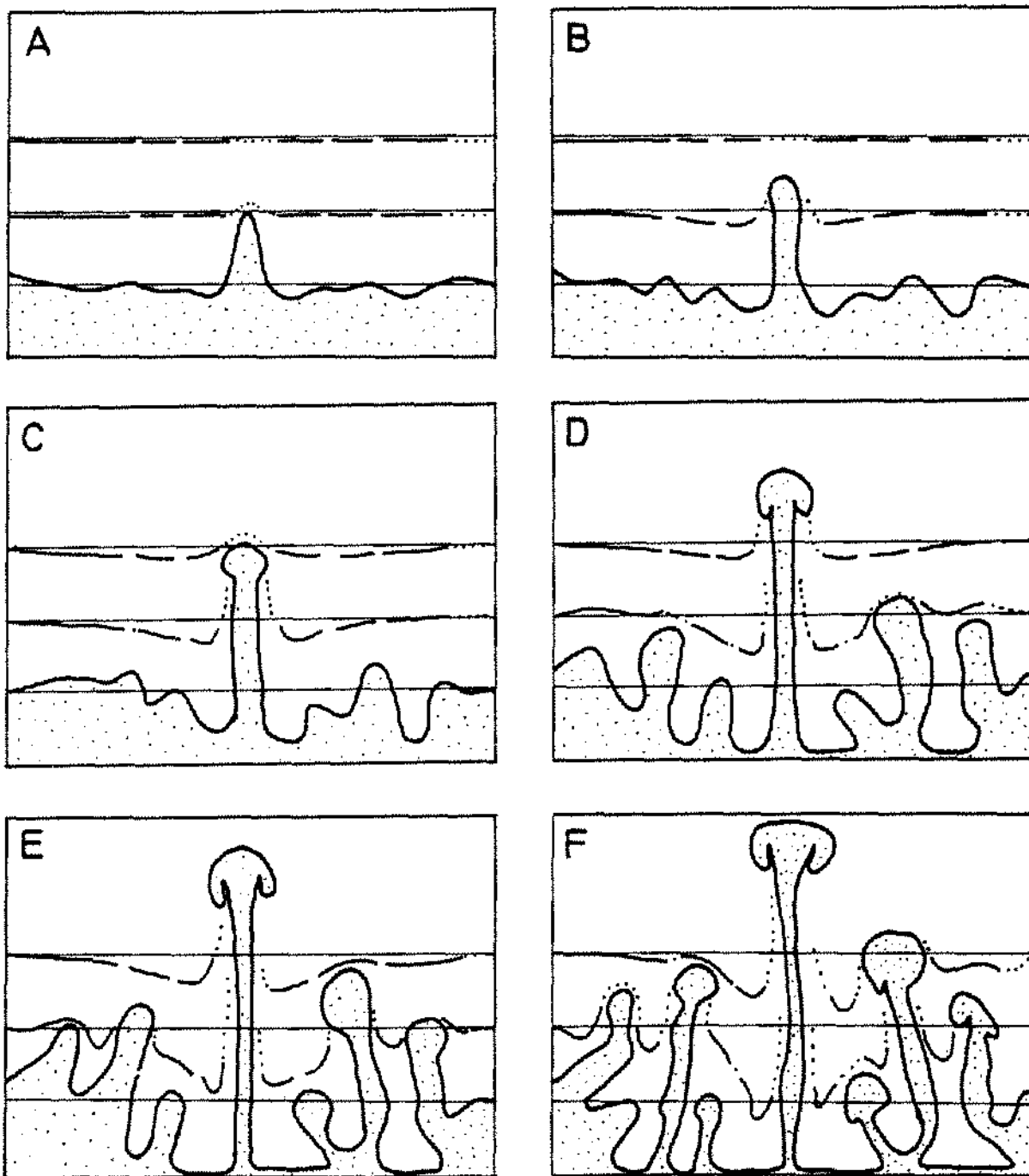
Im unteren Teil des Modellkastens wurde die ursprüngliche Modellsalzschicht immer dünner. Dort verzögerte sich die Bildung der Modelldiapire erheblich (C–D) und unterblieb im unteren Teil völlig (E).



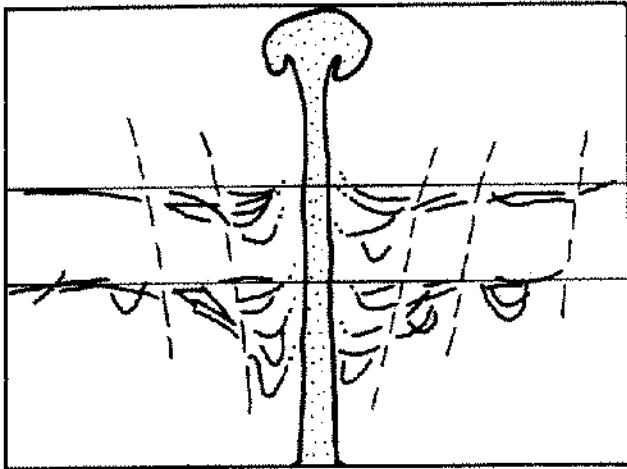
Figur 4. Entwicklung von Modellsalzstöcken mit Generationsfolge, die durch eine aufsteigende Luftblase als Anfangsstörung ausgelöst wird (zweidimensionales Modell). Beim Materialaufstieg bilden sich pilzförmige Überhänge aus und der zentrale Modellsalzstock erhält eine spätere Materialnachlieferung (siehe Teilbilder E und F). Bemerkenswert ist auch ein nach innen gerichteter Wanderungseffekt der ersten Folgegeneration (Teilbilder D bis F). Dieser Effekt entsteht, weil die ersten Randsenken auch durch seitlich einfließendes Material gefüllt werden. In diesem Materialfluß werden die in Entstehung begriffenen Sekundärgebilde mit genommen und zum primären Modellsalzstock hin gedrückt (Teilbild D). Der Vorgang ist beendet, wenn die ersten Randsenken gefüllt sind. Von diesem Zeitpunkt an steigen die Sekundärgebilde dann senkrecht auf, wie aus dem Abknicken in die Vertikale zu erkennen ist (siehe Teilbilder E und F).



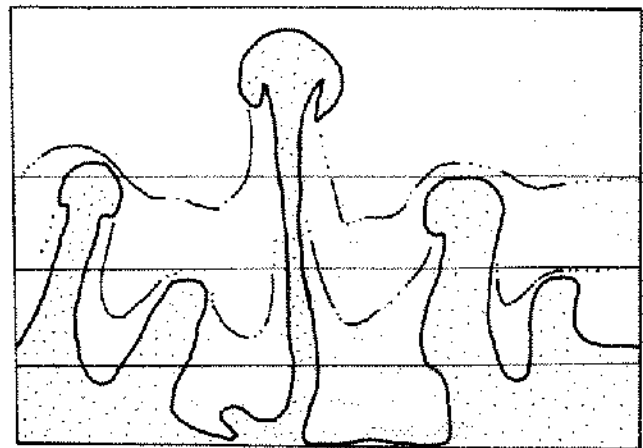
**Figur 5.** Im unteren Teil ist der Modellkasten in vertikaler Versuchsanordnung skizziert. Durch eine verschieden große Luftblase (A) wird die Generationsfolge ausgelöst und je nach Größe der Anfangsstörung bilden sich dabei die ersten Randsenken verschieden groß aus (B). Im oberen Teil der Abbildung ist dargestellt, daß zwischen diesen beiden Größen im Modell ein linearer Zusammenhang besteht.



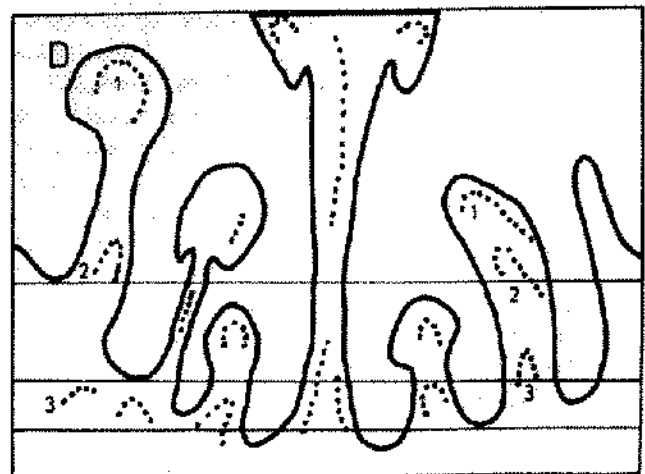
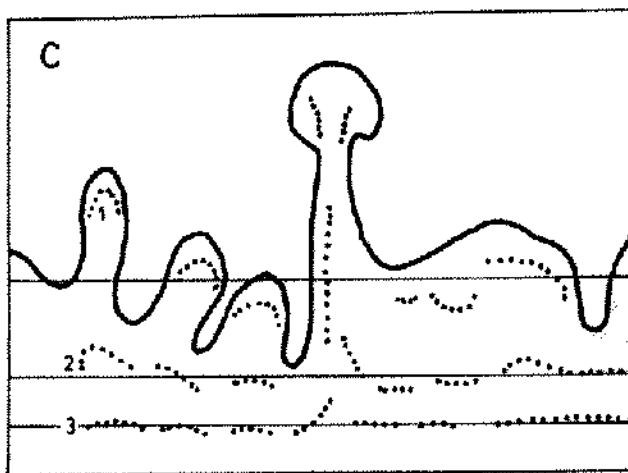
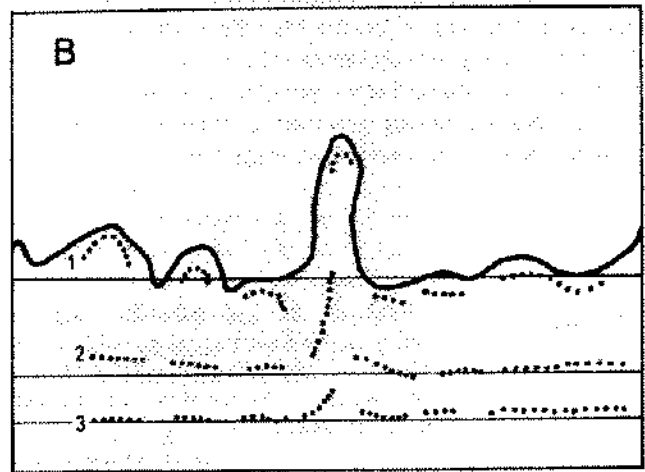
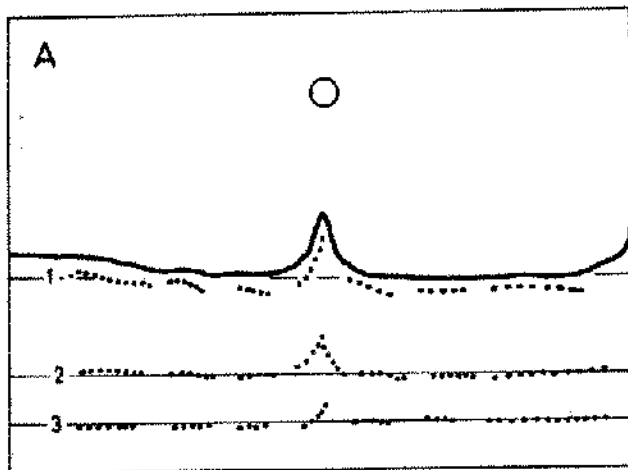
Figur 6. Der Modellkasten befindet sich in vertikaler Anordnung wie in Fig. 4. Im Bereich des Modellsediments wird kurz vor dem Umdrehen des Kastens eine Schichtung durch winzige Gasblasen markiert. In der Abbildungsfolge ist das Aufreißen von Sedimentschichten, das Absinken in den Randsenken und die seitliche Bewegung infolge des Wanderungseffekts zu erkennen. Bis auf letztere sind die beobachtbaren Erscheinungen durch geophysikalische Erkundung ausreichend bekannt, das Modell zeigt aber die gute Nachbildbarkeit der Vorgänge.



Figur 7. In dieser Abbildung wurden einzelne Phasen der Sedimentbewegung aus dem Modellversuch in Fig. 6 nachgezeichnet. Man erkennt in den Randsenken die einzelnen Schritte der Absenkung, bei denen auch eine seitliche Wanderung erkennbar ist (sogenannter Wanderungseffekt).



Figur 8. Detaillierte Nachzeichnung eines Modellexperiments unter den Bedingungen wie in Fig. 6.



Figur 9. Der Modellkasten befindet sich in vertikaler Anordnung und innerhalb des Modellsalzes wurden kurz vor dem Start des Experiments Schichtgrenzen sichtbar gemacht. Man kann die einzelnen Schichten während ihres Aufstiegs in den Modelldiapiren zum Teil gut verfolgen.

suchen eine bisher nicht erreichte Präzision erzielt werden. Dabei wird durch Variationen der Versuchsbedingungen und durch die gezielte Erzeugung von Anfangsstörungen Gesetzmäßigkeiten bei der Salzstrukturbildung nachgegangen.

In einen Modellkasten aus Plexiglas (Innenmaß  $200 \times 200 \times 10$  mm) werden zwei nicht mischbare Öle und zwar ein Silikonöl und ein leichteres Motoröl (Dichte 0.89 bzw. 0.97 g/cm<sup>3</sup>) eingefüllt. Durch unterschiedliche Farben lassen sich die Bewegungen der beiden Flüssigkeiten gut erkennen. Nach einigen Stunden bildet sich durch die unterschiedliche Dichte eine stabile Schichtung mit einer ebenen Grenzschicht zwischen den Flüssigkeiten aus.

Dreht man den Kasten nun auf den Kopf, so erhält man eine instabile Schichtung und die leichtere Flüssigkeit versucht—wie das Salz in der Vergangenheit—nach oben zu gelangen. Gleichzeitig sinkt die schwerere Flüssigkeit ab und diese Umschichtungsvorgänge sind nicht willkürlich und regellos. Es treten dabei Gesetzmäßigkeiten auf, die der Bildung von Salzstrukturen vergleichbar sind.

Eine sehr genaue Beschreibung der Versuchsbedingungen und ein erster Teil der Modellexperimente ist einer Veröffentlichung zu entnehmen (Heye, 1978). Dort findet man auch zahlreiche Fotos, von denen im folgenden ein Teil als Nachzeichnungen wieder gegeben ist. Außerdem werden auch neuere Ergebnisse vorgestellt.

## DISKUSSION

Martinez:

**Frage.** Have you seen any evidence in your experiments of a circulation pattern in the opposite direction which could engulf overlying sediments in the salt stock?

**Antwort.** Ja, die Abbildungen 12, 13 und 16 des Vortrages zeigen das. Unterhalb der "Rollkrempe" d.h. unterhalb des Ueberhangs kann Sediment eingerollt werden, das ehemals über dem Salz gelegen hat.

Borchert:

**Frage.** Die Relativbewegungen zwischen Deck- und Randgebirge gegenüber den aufsteigenden Salzmassen wurden als wesentlich für die "Einrollungsbewegungen" im Salzgebirge angenommen. Das dürfte kaum zutreffen. Entscheidend wichtig für Einrollungsprozesse und "Randsüßel" ist sicher der Unterschied der grossen und relativ reinen Massen des Z2-Steinsalzes gegenüber Z3 und Z4, in denen viel mehr "Korsettstützen", in Form von Anhydrit und Salztonpaketen eingebaut sind.

**Antwort.** Das scheint mir der wirklich wesentliche Punkt zu sein. Die Salzgeologen haben bisher mit den verschiedenen Eigenschaften des Zeichsteinsalzes (Z2 gegenüber Z3 und Z4) manches zu erklären versucht. Sicher existieren zwischen diesen Salzschichten Unterschiede, aber in den Modellversuchen laufen die gleichen Ereignisse ohne solche Materialunterschiede ab und sind nur durch die Physik der Fliessbewegungen verursacht. Meines Erachtens wird hier ein bisher geologisch durch Materialunterschiede interpretierter Vorgang nunmehr durch einen physikalischen Ablauf erklärt.

## LITERATUR

- Hunsche, U. 1977. Modellrechnungen zur Entstehung von Salzstockfamilien. Dissertation. Braunschweig, 102S.
- Heye, D. 1978. Experimente mit viskosen Flüssigkeiten zur Nachbildung von Salzstrukturen. Geol. Jb. Reihe E 12: 31–51.
- Ramberg, H. 1968. Experimental and theoretical study of salt-dome evolution. Earth. Sci. 7, UNESCO, 1972, Geology of saline deposits. Proc. Hanover Symp.
- Trusheim, F. 1957. Über Halokinese und ihre Bedeutung für die strukturelle Entwicklung Norddeutschlands. Z. Deutsch. Geol. Ges. 109: 111–151.