

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 54 (1961)
Heft: 2

Artikel: Die Mobilisierung klastischer Massen. Teil I, Die Sandsteingänge in der San Antonio-Formation (Senon) des Rio Querecual, Ostvenezuela ; Teil II, Die Mobilisierung klastischer Massen und ihre geologische Dokumentation
Autor: Laubscher, Hans Peter
Kapitel: II: Die Mobilisierung klastischer Massen und ihre Geologische Dokumentation
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-162821>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

differentielle Kompaktion des Wirtsgesteins gegenüber den Gängen von beträchtlichem Ausmass eintreten. Die Ergebnisse solcher differentieller Kompaktion lassen sich oftmals in der Umhüllung früh verfestigter Kalkkonkretionen erkennen, wo das kompaktionsfähige Gestein am Rande der nicht kompaktierbaren Körper abgeschleppt ist, ganz ähnlich wie der Schiefer am Gangfragment der Fig. 8. Dieses Verhalten wurde oben als Stauung gedeutet. Könnte es sich aber nicht auch auf Fig. 8 um differentielle Kompaktion handeln? Wir glauben nicht, denn sonst müsste man ein symmetrisches Verhalten auf der andern Seite des Ganges erwarten, dort aber ist der Schiefer nicht durch sanfte Abschleppung, sondern durch wirre Lagerung gekennzeichnet, wie sie beim Umfliessen eines Hindernisses zu erwarten ist. Für unsere Deutung spricht auch, dass der ganze Zweiggang der Fig. 7 offenbar durch grössere Bewegungen des Wirtsgesteins fragmentiert wurde. Gewisse Spuren muss aber die differentielle Kompaktion doch hinterlassen haben. Vielleicht sind einige der kalzitischen Klüfte, wie sie z. B. auf Fig. 18 erscheinen, so entstanden, in diesem speziellen Fall also durch kompaktive Verschärfung der Gangfalte.

II. TEIL: DIE MOBILISIERUNG KLASTISCHER MASSES UND IHRE GEOLOGISCHE DOKUMENTATION

Im ersten Teil wurde detailliertes Anschauungsmaterial von einem ganz bestimmten Fall klastischer Intrusionen gesammelt und nach seinen allgemein geologischen, paläogeographischen und mechanischen Aspekten in extenso diskutiert. Damit sollte die Grundlage geschaffen werden für eine allgemeine Erörterung klastischer Intrusionen und des Problems der Mobilisierung klastischer Massen überhaupt.

Die mannigfachen Ursachen und Begleitumstände solcher Prozesse seien zunächst anhand einer knappen tabellarischen Zusammenstellung vor Augen geführt, alsdann sollen einige besonders interessante, in der Literatur beschriebene Fälle besprochen werden.

Übersicht über die verschiedenen Variationen klastischer Intrusionen

I. Energiequellen.

1. Chemische Energie.

Die chemische Energie einsedimentierten organischen Materials wird von Bakterien oder auf anorganischem Wege durch Gasentwicklung in Druckenergie verwandelt. Auch ein Teil der vulkanischen Energie ist chemischen Ursprungs.

2. Seismische Energie.

Deformation flüssigkeitsgesättigter poröser Sedimente durch Oberflächenwellen im Epizentralgebiet.

3. Tektonische Energie.

Kompression flüssigkeitsgesättigter poröser Sedimente. Öffnung von Zerrklüften, d. h. Gebieten von Unterdruck.

Hebungen mit nachfolgender Schweregleitung führen zur Erzeugung geostatischer Überdrucke. Überhaupt ist die Schwereenergie der Festpartikel fast ausschliesslich tektonisch bedingt.

4. Vulkanische Energie.

Die Druckenergie des magmatischen Reservoirs erhöht den Porendruck durch Intrusion (evtl. nur von Gasen) in poröse Gesteine.

Die Wärmeenergie einer magmatischen Intrusion erhöht den Porendruck. Die Verdampfung von Porenwasser verursacht phreatische Eruptionen.

Rasche Überlastung durch vulkanische Gesteine erzeugt geostatischen Überdruck.

Der Strömungsdruck entweichender Gase fluidisiert klastische Gesteinspartien.

5. Potentielle Energie im Schwerefeld.

Artesischer Überdruck ist eine gemeine Ursache für Quicksande.

Geostatischer Überdruck wird erzeugt durch rasche Belastung wassergesättigter Sedimente, besonders solcher von instabilem Korngefüge, mit frischen Ablagerungen, Rutschmassen etc. Vgl. tektonische und vulkanische Energie.

6. Kosmische Energie.⁴⁾

Meteoriten erzeugen bei Aufschlag und Explosion eine Deformation flüssigkeitsgesättigter Sedimente und eine Druckwelle im Porenwasser. Entsprechende Schlammvulkan- ausbrüche wurden bei der Explosion von Fliegerbomben beobachtet (TRUSHEIM, 1940).

II. Speicherung der Energie.

Dazu ist ein poröses, im allgemeinen permeables Reservoir mit relativ undurchlässigen Wänden nötig. Die Isolation darf um so unvollkommener sein, je rascher die Energiezufuhr ist. So ist Deformation durch seismische Oberflächenwellen ein derart rascher Vorgang, dass auch schlecht isolierte Reservoirs intrusiv werden.

III. Beschaffenheit von Intrusionsmasse und Wirtsgestein.

Die klastischen Teilchen der Intrusionsmasse müssen durch Flüssigkeit oder Gas getrennt sein (Ausschaltung der inneren Reibung). Die Festteilchen können sedimentären oder tektonischen Ursprungs sein (Dislokationsbrekzien, Mylonite), oder sie können durch die Intrusion erst geschaffen werden (vulkanische Explosionen, Abrasion in fluidisierten Systemen, Abtrennung von Wirtsgestein durch Intrusion längs Klüften, selektive Aufschmelzung).

Besteht die flüssige Phase aus Gas, so kann wegen dessen grosser Expansionsfähigkeit auch ein kleineres Reservoir zu ausgedehnten Intrusionen fähig sein. Das spezifisch leichte Gas sickert an die Oberfläche, weitet dabei Klüfte aus, schafft Wege für nachfolgende Intrusionen, schwächt den Reservoirdeckel.

Das Wirtsgestein muss sich unter den gegebenen Umständen spröde verhalten, d. h. sich an Scher- oder Zerrklüften öffnen.

IV. Auslösung der Intrusion.

Spalten bilden sich durch äussere Deformation (seismisch, tektonisch, durch Rutschungen) oder beim Zerplatzen der Wände unter hohem Innendruck. Überdruck kann auch durch rasche Entlastung entstehen, Schwächung des Deckels durch tiefgreifende Trockenrisse, Klüftung erkaltender Eruptivgesteine.

V. Mechanik (Rheologie) der Intrusion.

Systeme, die aus Gas oder Flüssigkeit und Festpartikeln bestehen, verhalten sich als fluidisierte Massen, wenn der Porendruck (statisch oder dynamisch) die innere Reibung aufhebt, sonst als körnige Aggregate nach der MOHRschen Festigkeitslehre. Bei sehr feinkörnigen Massen spielen Oberflächenkräfte eine grosse Rolle (Schlamm). Plastische mobile Massen (z. B. Salz) können sich ebenfalls mit klastischen Materialien beladen und mit diesen das Wirtsgestein intrudieren.

⁴⁾ Anmerkung während des Drucks: Neuerdings wird den «Astroblemen», den in der Erdkruste durch Riesenmeteoriten geschlagenen Wunden und ihren Narben, immer grössere Bedeutung beigemessen (DIETZ, R. S., 1961: Astroblems. Scientific American 205/2). Assoziierte Mobilisierung und Intrusion von klastischen Gesteinen sind also wohl nicht bloss spekulative Möglichkeiten. Vgl. S. 326.

Beispiele

Nach der oben gegebenen Zusammenstellung ist die grösste Mannigfaltigkeit in den Energiequellen zu finden. Die Beispiele seien deshalb nach diesem Gesichtspunkt angeordnet. Allerdings werden nicht für jede der aufgezählten Kategorien Belege geboten. Auch sind Ursache und Mechanismus für manche Intrusionen umstritten; solche Fälle ordnen wir dann nach eigenem Ermessen in jene Klasse ein, die den Umständen am besten gerecht zu werden scheint.

1. Chemische Energiequellen

Da die San Antonio-Gänge in diese Kategorie fallen, so seien hier nur einige kurze Ergänzungen angebracht.

Die auffälligste Erscheinung, die durch organisch-chemische Energiequellen bedingt ist, sind die Schlammvulkane. In ihrem Gefolge sind auch massenhaft klastische Gänge anzutreffen. Sie sind mehrfach Gegenstand eingehender Untersuchungen geworden, z. B. durch KUGLER (1933). Dieser Autor beschreibt besonders ausführlich die Schlammvulkane von Trinidad und ihre Begleiterscheinungen. Hier variiert das Material klastischer Gänge von feinen Sanden und verfestigtem Schlamm mit leichten Ölimprägnationen bis zu reinen Kohlenwasserstoffgängen (Manjak) oder zu konglomeratischen Gängen. In diesen letztern verraten einige der Fragmente eine Herkunft von mindestens 100 oder 200 Fuss unterhalb ihres jetzigen Vorkommens. Gewisse Schlammflüsse müssen, nach den Foraminiferen zu urteilen, die in ihnen enthalten sind, in einer Tiefe von mindestens 3000 m entstanden sein.

Die Tätigkeit der Schlammvulkane ist intermittierend; häufig sind erneute Ausbrüche scheinbar schon längst erloschener Vulkane, wobei es sich nicht um geringe Nachschübe zu handeln braucht. Z. B. wurden in einem solchen Fall innerhalb von 20 Minuten 500 000 Kubikmeter Schlamm ausgeschleudert und gegen 10 Hektaren Wald umgeblasen (KUGLER, 1933, p. 12). Dabei sind die Schlammvulkane von Trinidad wahre Zwerge gegenüber denjenigen der Kaspi und Ostindiens.

Schlammvulkane entstehen meist im Zusammenhang mit diapirischer Faltung (hier nicht im Sinne von Salzauftrieben verwendet) und sind so durch tektonische Kräfte mitbedingt. Aber auch ohne Mithilfe der Tektonik treten Gaseruptionen in sehr jungen Reservoirs ein, was besonders für die Beurteilung der San Antonio-Gänge wichtig ist. Z. B. weiss KUGLER (1933, p. 3) vom Golf von Chichiriviche in Falcon (Venezuela) zu berichten, wie grosse Mengen von Sumpfgas mit Donnergetöse aus einem subrezentem versunkenen Mangrovesumpf auszubrechen pflegten, wenn jeweils im Herbst durch Änderung der Windrichtung ein Teil des belastenden Sandes wieder weggeschwemmt wurde.

Fossile Sandsteingänge, die die bedeutsame Assoziation Faulschlamm-Rutschungen-Sandsteingänge ohne erhaltene Schlammvulkane zeigen, sind zahlreich. Für sie alle ist eine chemische Energiequelle mit Gaseruptionen anzunehmen, sofern nicht schwerwiegende Gegenindizien vorliegen. Zu erwähnen wären die Gänge in den Talaraschiefern von Peru (DORREEN, 1951) und die sogenannten «neptunischen» Gänge in den Maikopschiefern von Daghestan (KUGLER, 1939).

Um Intrusionen unter Gasdruck, jedoch ohne Anzeichen von Rutschungen, handelt es sich wohl bei den berühmten Sandsteingängen von Kalifornien, be-

sonders denjenigen von Sta. Cruz (NEWSOM, 1903). Zahlreiche weitere Beispiele werden von SHROCK (1948) erwähnt.

2. Seismische Energiequellen

Extrusionen von Sand und Schlamm bei Erdbeben werden häufig wahrgenommen, und zwar besonders während des Durchgangs der vehementen Oberflächenwellen im Epizentralgebiet. Z. B. berichtet ein Augenzeuge des New Madrid-Erdbebens von 1811 im Mississippi-Tal (DAVISON, 1936, p. 56):

“The earth was observed to roll in waves a few feet high with visible depressions between. By and by these swells burst, throwing up large volumes of water, sand, and coal.”

Beim Erdbeben von Assam (1897) bildeten sich eine Unmenge von Sandvulkanen, auch verlor der Baugrund in der Alluvialebene seine Festigkeit und ganze Häuser versanken (DAVISON, 1936, p. 138ff.). Offenbar können bei den heftigen Erschütterungen sowohl die thixotrope Festigkeit als auch die instabilen Gefüge mancher losen Sedimente zusammenbrechen, so dass viskose Schlamme und Quicksande entstehen, und zudem werden Ausgänge geschaffen für diese wie auch für Reservoirs, die schon vorher unter hohem Porendruck gestanden hatten. Überdies wird durch lokale Kompression der Porendruck dermassen gesteigert, dass das Reservoir zerplatzen kann. Ähnliche Erscheinungen werden bei den meisten grossen Erdbeben beobachtet. Bei welchen der fossilen klastischen Gänge seismische Energie im Spiele war, lässt sich schwer entscheiden. Dazu müssten die seismischen Phänomene auf dem Meeresboden besser bekannt sein. Für die San Antonio-Gänge haben wir angenommen, dass seismische Wellen zumindest bei der Auslösung der Rutschungen beteiligt gewesen sein mochten. Nach SHROCK (1948, p. 212ff.) wird für viele klastische Gänge ein seismischer Ursprung geltend gemacht.

3. Tektonische⁵⁾ Energiequellen

Die Liasgänge im Hauptdolomit von Arzo (Südtessin)

Auf die Gangnatur vieler Liasvorkommen in den Steinbrüchen von Arzo hat VONDERSCMITT (1953) aufmerksam gemacht. Die Intrusionsmasse bestand aus noch flüssigem Schlamm, der von oben in Spalten des Hauptdolomits intrudiert und wohl durch spätere Quetschvorgänge in Nebenrisse und feinste Klüfte eingepresst wurde. Es lässt sich eine mehrmalige Wiederholung von Intrusionen während des Lias feststellen. Die Spalten im Hauptdolomit dürften tektonischer Anlage sein. Auseinanderklaffen und Quetschbewegungen waren z. T. vielleicht tektonisch bedingt, z. T. mögen aber auch Schweregleitungen auf den Raiblerschichten mitgewirkt haben (schichtparallele Lagergänge!). Wir verdanken die Demonstration und Diskussion dieser auffälligen Bildungen Herrn cand. geol. F. WIEDENMAYER, Basel.

⁵⁾ Der Begriff «tektonisch» wird hier in seiner allgemeinen Bedeutung verwendet als «mit dem Aufbauen des Gebirges zusammenhängend», nicht im oft verwendeten speziellen Sinn als «zum fertigen Gebirgsbau gehörig». Dies scheint statthaft, bedeutet doch das griechische *τεκτονικός* «zum Baumeister» oder «zur Baukunst gehörig» und nicht «zum Gebäude gehörig».

Die Sandsteingänge im Pikes Peak-Granit von Colorado

Ebenfalls tektonischen Ursprungs sind nach HARMS (1958) die Sandsteingänge im Pikes Peak-Granit von Colorado. Diese bis 100 Fuss dicken und mehrere tausend Fuss langen Gänge aus silifiziertem Quarzsand sind beschränkt auf drei Gebiete mit nach Osten gerichteten Überschiebungen. Sie treten dort in der Nähe des Überschiebungskontaktes zwischen Granit und Sedimenten auf, und zwar innerhalb einer Entfernung von einer Meile. Sie sind parallel zum (tektonischen) Kontakt und zu Ebenen, die senkrecht auf der Achse geringsten Druckes während der Überschiebung standen, und fallen steiler nach Westen ein als die Überschiebungsflächen. Aus all diesen Gründen werden sie laramischen Bewegungen zugeordnet, in deren Verlauf wassergesättigte Sande in Klüfte des überschobenen Granites eingepresst wurden.

Möglicherweise haben hier die tektonischen Bewegungen dreierlei Arten von Intrusionsenergie geschaffen. Durch relativ rasche tektonische Bedeckung wässriger Sedimente entstanden in diesen hohe geostatische Porendrucke, weitere Steigerungen des Innendruckes mögen aktiver tektonischer Kompression zuzuschreiben sein, und endlich wurden durch das Aufreissen von Klüften in der Überschiebungsmasse Gebiete von Unterdruck geschaffen.

Die Gangmylonite der Silvretta

Bei den Gangmyloniten der Silvretta handelt es sich nach BEARTH (1933) um Trümmergesteine, die durch tektonische Vorgänge besonderer Art entstanden sein müssen (p. 347). An manchen Stellen drang die Gangmasse mit grosser Gewalt ein; denn ihre zahlreichen Porphyroklasten aus Quarz und Feldspat zeigen alle kräftige Kataklaste und sind meist in undulös auslöschende Häufchen aufgelöst, und hie und da werden die Mineralien des Nebengesteins gestaucht und durchbrochen (p. 350/351). Im Gegensatz zu den Sandsteingängen des Pikes Peak-Granits besteht der Ganginhalt nicht aus intrudiertem Fremdmaterial, sondern aus dem fein pulverisierten Wirtsgestein selbst. Vergleicht man nämlich Gangmylonite aus einem Paragneis mit solchen aus einem Amphibolit, so zeigt sich ein auffälliger Farbunterschied, wobei sich die Gangfarbe der des Wirtsgesteins annähert (p. 350). Ferner lässt sich manchmal klar der Übergang von normalen Myloniten und Ultramyloniten in Gangmylonite erkennen. Endlich möchten wir folgenden hochinteressanten Passus wörtlich zitieren (p. 351):

«Dass die Gangmylonite oft unmittelbar aus dem Nebengestein stammen, das kann man auch daran sehen, dass Randkristalle zerbrochen erscheinen und ihre Trümmer als Schlieren sich in der dichten Masse noch verfolgen lassen. Dunkle Mineralien werden dabei eher zerstört als helle.»

Ausser der feinkörnigen Grundmasse enthalten die Gänge mancherorts zahlreiche grössere, oft gerundete Trümmer des Nebengesteins (Fig. 2, p. 349).

BEARTH beschränkt sich in seiner Arbeit weitgehend auf eine sehr sorgfältige Darstellung der Beobachtungen, während er ihre genetische Deutung noch offen lässt. Immerhin macht er noch auf folgende Punkte aufmerksam, die bei jedem Deutungsversuch zu berücksichtigen sind: (1) Die Gangmylonite treten in der Nähe der basalen Schubfläche der Silvrettadecke auf, sie sind dabei aber beschränkt auf die Umrandung des Unterengadiner Fensters, und auch hier sind sie im westlichen Abschnitt des Nordrandes konzentriert. (2) Sie finden sich bis mindestens

300 m über der basalen Schubfläche. In deren Nähe werden sie aber nicht häufiger, und sie zeigen auch keinen Zusammenhang mit den Myloniten der Schubzone. Aus all dem geht hervor, dass sie im Gefolge der späteren Aufwölbung des Fenstergebietes entstanden und nicht bei der Überschiebung der Decke. Die Zertrümmerung des Gesteins wird von BEARTH auf stossweise Deformation bei der Aufwölbung zurückgeführt.

Ein besonderes Licht auf die Gangmylonite der Silvretta werfen die berühmten Pseudotachylite der Gegend von Vredefort in Südafrika, auf die wir nun näher eingehen wollen.

Die Pseudotachylite des Gebietes von Vredefort, Südafrika

Ein bemerkenswerter Deutungsversuch dieser eigenartigen Bildungen ist in jüngster Zeit von REYNOLDS (1954, p. 591 ff.) gegeben worden. Die dabei entwickelten Vorstellungen decken sich in mehreren Punkten mit unsern Anschauungen über den Intrusionsmechanismus der San Antonio-Gänge, auf dessen Erörterung für Details verwiesen sei.

REYNOLDS befasst sich in ihrer Arbeit ganz allgemein mit der geologischen Evidenz für fluidisierte Systeme im Bereich vulkanisch-magmatischer Erscheinungen. Ihre Ansichten werden deshalb noch mehrmals zu erwähnen sein.

Bei ihrer Beurteilung der Pseudotachylite stützt sie sich auf die eingehenden Arbeiten von SHAND (1916), HALL und MOLENGRAAFF (1925) und WILLEMSE (1936), in denen mancherlei Eigentümlichkeiten vermerkt sind, die auf Fluidisationsprozesse hinweisen.

Die Pseudotachylitgänge durchsetzen als Adergeflecht vor allem den Granit von Parys. Die Gangmasse leitet sich aus dem fragmentierten Wirtsgestein selbst her, wie in der Silvretta, nur mit dem Unterschied, dass sie wohl teilweise geschmolzen war. Überall finden sich grössere Einschlüsse von Wirtsgestein, die z. T. eckig, viel häufiger aber gerundet sind, so dass sie nach SHAND (1916) an ein Sedimentärkonglomerat erinnern. Die Einschlüsse sind allerhöchstens sehr kurze Distanzen gewandert, sie können sich also nicht wie die Komponenten sedimentärer Konglomerate auf langem Transportwege allmählich abgerundet haben, vielmehr muss sich ein Abrasionsmittel an ihnen vorbeibewegt haben, während sie mehr oder weniger an Ort und Stelle liegen blieben. Genau dieselben Bemerkungen gelten für die Mylonitgänge der Silvretta. Der einfachste Prozess, der solche Ergebnisse zeitigt, ist Abrasion durch in einem Gasstrom suspendierte Festpartikel, wie sie in künstlichen Fluidisationsbehältern auftritt. Solche Prozesse ändern ihren Charakter je nach Dichte und Grösse der Körner und nach der Strömungsgeschwindigkeit des Gases, wie im ersten Teil näher ausgeführt ist. Bei mässigen Geschwindigkeiten herrscht eine turbulente, dichte Phase vor, in der die einzelnen Körner zwar durcheinandergewirbelt werden, insgesamt jedoch an Ort und Stelle bleiben. Bei grossen Geschwindigkeiten dominiert die dünn-disperse Phase, dann werden Körner eines gewissen Grössenbereiches mit dem Gase fortgerissen. In den Pseudotachylitgängen finden sich Anzeichen für die Wirksamkeit beider Fluidisationsphasen. Die *dichte Phase* dokumentiert sich überall da, wo die Gesteinsgrenzen der Wandung ohne grosse Verschiebung den Gang queren, wie dies in der Silvretta meist der Fall ist. Als besonders interessantes Beispiel zitiert

REYNOLDS nach HALL und MOLENGRAAFF (1925, p. 105) das eines Ägirinkristalls, der «cut by the pseudo-tachylite was not split and thrust aside, but was partly taken up and replaced by the pseudo-tachylite which became charged with specks of iron-ore.» Treten also beim Durchströmen des Gases chemische Reaktionen auf, so bewirkt die dichte Phase eine Metasomatose, weil sie ja, im ganzen gesehen, an Ort und Stelle festbleibt. Die Tätigkeit der meist *dünndispersen, bewegten Phase* zeigt sich vor allem im Materialtransport, der in gewissen Gängen und Adern stattgefunden hat. In der Silvretta könnte man vielleicht das gewaltsame Einpressen von Gesteinsmehl in Seitenäderchen dieser Phase zuordnen.

Die äusserst feinkörnige pseudotachylitische Grundmasse braucht nicht insgesamt aus tektonisch zermalmtem oder zerstäubtem Material zu bestehen. Die Abrasion durch bewegte Festpartikel schafft ständig neue Feinteilchen. Ein Netz von ursprünglich nur wenig geöffneten, engen Klüften kann sich so in einen breiten Gang verwandeln, in dem von der Abrasion verschonte Relikte des Wirtsgesteins als Einschlüsse schwimmen. Jedenfalls deutet das reichliche Vorhandensein gerundeter Einschlüsse auf kräftige Abrasion, und die Abrasionsprodukte müssen sich im feinkörnigen Material wiederfinden.

Im grossen und ganzen ist die Fragmentierung des Wirtsgesteins weder in Südafrika noch in der Silvretta auf Zermahlung durch Scherbewegungen zurückzuführen. Deshalb können die gerundeten Einschlüsse auch nicht als Komponenten einer Dislokationsbrekzie aufgefasst werden, bei denen oftmals eine gewisse Rundung anzutreffen ist. Das Gestein scheint vielmehr irgendwie zerplatzt zu sein, ein Vorgang, den man sich schwerlich als Folge eines sich langsam entwickelnden tektonischen Spannungsfeldes vorstellen kann. In diesem Normalfall wird das Gestein zerschert, was zwar auch ruckweise geschieht, aber doch nach einigermassen gesetzmässig orientierten Flächen und Richtungen. Bei den San Antonio-Gängen wurde für ähnlich chaotische Erscheinungen die Mitwirkung des hochgespannten Gases selbst verantwortlich gemacht, und auch für die Pseudotachylite zieht REYNOLDS die Möglichkeit in Betracht, dass die ursprüngliche Fragmentierung mit Hilfe des Gases zustandegekommen sein könnte.⁶⁾

Wie man sich zu der REYNOLDSchen Deutung auch stellt, eines ist klar: Transport von Gesteinsmehl und Abrasion von Einschlüssen verlangen die Mitwirkung einer Vehikelflüssigkeit, wobei – vor allem für die Abrasion – am ehesten Gas in Frage kommt. Bei der geographischen und volumetrischen Ausdehnung des

⁶⁾ Die Besonderheit der Struktur von Vredefort lässt allerdings vermuten, dass sie das Resultat eines ganz besonderen Vorganges ist. Darauf hat insbesondere R. A. DALY (1947, The Vredefort ring-structure of South Africa, Jour. Geology, 55) mit Nachdruck hingewiesen. Daly war der Auffassung, dass sie die Narbe eines ungeheuren Meteoriten-Aufschlags sei. Diese Meinung vertritt in jüngster Zeit auch DIETZ (1961, Astroblems, Scientific American 205/2) auf Grund neuer Evidenz. Danach hätte ein ungeheurer Meteorit durch seinen Aufschlag einen tiefen Krater gerissen und darunter erst noch die ganze Dicke der Erdkruste zertrümmert; daher die intensive, unregelmässige Zerklüftung und wohl auch das Gesteinspulver. Spätere isostatische Hebung und Erosion hätten den heutigen Granitdom geschaffen. Auch bei dieser Interpretation bliebe aber noch abzuklären, in welcher Weise und mit welcher Verzögerung die bei Aufprall und Explosion des Meteoriten entstehenden Ungleichgewichte ausgeglichen wurden – wie die Abwanderung von mobilem Material (Gas, Flüssigkeit, Gesteinsmehl) aus den Überdruckgebieten in die offenen Klüfte ablief. Jedenfalls müssen die beschriebenen Fluidisierungsprozesse auch bei Astroblemen eine wesentliche Rolle spielen.

Gangsystems scheint es unerlässlich, dass ein grösseres Gasreservoir vorhanden war, dessen Eruption die Gangbildung erst ermöglichte. Bei den Pseudotachyliten von Vredelfort scheinen die Gase heiss und magmatisch-vulkanischer Herkunft gewesen zu sein. Auch für die Gangmylonite der Silvretta weisen die Säuerlinge von Tarasp auf die Möglichkeit magmatischer Gasförderung hin. Ob diese allerdings zur Zeit der Gangentstehung eine Rolle gespielt hat, ist fraglich; denn die sehr geringe Metamorphose der Unterengadiner Bündnerschiefer spricht eher gegen das Vorhandensein einer magmatischen Wärmequelle im seichteren Untergrund. Hingegen ist zu bedenken, dass die unterostalpinen und penninischen Sedimente im Liegenden der Silvrettadecke zum Teil reich an organischem Material sind, aus dem infolge Durchbewegung und leichter Metamorphose die flüchtigen Bestandteile entfernt wurden, während der Rest sich fixierte. Dem Ölgeologen fällt nun auf, dass die Aufwölbung des Unterengadiner Fensters und besonders die von BEARTH (1933, Fig. 4) dargestellten Querrunzeln in seiner Nordwestecke eine gewisse Ähnlichkeit mit den Antiklinalfällen für Erdgas und Erdöl aufweisen. Und könnten nicht die basalen Mylonite des Silvrettakristallins wenigstens vorübergehend als Gasspeicher gedient haben, ähnlich dem so reichlich produzierenden kristallinen Grundgebirge der Ölfelder von Mara und La Paz im Maracaibo-becken?⁷⁾

Leider sind die Daten zu spärlich, als dass man zu einem unanfechtbaren Schluss gelangen könnte. Jedoch frappiert schon die blosse Möglichkeit, die Entstehungsweise der so gänzlich andersartigen Gangmylonite könnte in mancher Hinsicht ähnlich gewesen sein wie die der San Antonio-Gänge. Über Gangmylonite und Pseudotachylite gelangt man aber fast unmerklich zu den wahrhaft fundamentalen Problemen klastischer Intrusionen im vulkanisch-magmatischen Bereich.

4. Vulkanisch-magmatische Energiequellen

Beim Vulkanismus treten in gewaltigem Masse Erscheinungen auf, wie sie oben für die unvergleichlich bescheideneren und auch materiell anders gearteten San Antonio-Intrusionen eingehend besprochen wurden. Die Vielfalt vulkanischer Erscheinungen lässt sich nach denselben Gesichtspunkten systematisch erfassen, nur treten bei der Charakterisierung von mobiler Masse und Wirtsgestein noch thermische und chemische Faktoren hinzu. Als ausserordentlich wichtig erweist sich das Problem der Energiespeicherung. Nach RITTMANN (1936) sind die verschiedenen Vulkantypen wesentlich durch Festigkeit und Gewicht des Speicherdaches bestimmt. Setzt dieses der ansteigenden Gasspannung geringen Widerstand entgegen, so verpufft sich die Energie in wiederholten kleinen Stössen. Ist der Widerstand des Daches hingegen gross, so sammelt sich der Gasdruck an, bis es zu einer einzigen gewaltigen Explosion mit nachfolgendem Calderaeinbruch kommt, wobei ein wesentlicher Teil der potentiellen Energie in kinetische verwandelt wird. Bei dieser explosiven Tätigkeit, die zudem bei viskosen Magmen eher auftritt als bei leichtflüssigen, werden Massen suspendierter Flüssigkeitströpfchen und Festkörper aller Grössenordnungen in einem Gasstrom hochgetragen, oder sie wälzen sich als Nuée ardente talwärts. Alle diese Erscheinungen können unter dem Sam-

⁷⁾ Die Aufwölbungen des Unterengadiner Fensters als Astrobleme zu deuten, wäre doch wohl zu gewagt.

melbegriff der Fluidisation vereinigt werden. Das klastische Material ist hier wie bei den Gangmyloniten endogener Herkunft.

Anders verhält es sich manchmal bei phreatischen Explosionen, bei denen die Gasspannung von vulkanisch verdampftem Grundwasser geliefert wird. Bei spektakulären phreatischen Ausbrüchen wie dem des Bandai-San (RITTMANN, 1936, p. 40/41) wird zwar sicher die Hauptmasse des klastischen Materials durch die Explosion selbst zubereitet, doch finden sich in der geologischen Literatur Berichte über offenbar phreatische Intrusionen, bei denen Sande und Konglomerate mobilisiert wurden. Diese Bildungen verdienen besonderes Interesse, handelt es sich doch um klastische Gänge von der Art der San Antonio-Gänge, nur dass der Porendruck mit Hilfe von vulkanischer anstatt organisch-chemischer Energie gesteigert wurde.

Ein hybrides Beispiel dafür ist dem Schreibenden aus eigener Anschauung bekannt, nämlich der Platillon-Diorit in der Garrapata-Formation (Coniacien) von Zentralvenezuela (KONIGSMARK, 1958). Die Garrapata-Formation ist gleich alt wie die San Antonio-Formation und ihr orogenes Äquivalent. Bei San Juan de los Morros, 320 km westlich des Rio Querecual (vgl. Fig. 24) tritt dieser Diorit in Lagergängen auf, die an der Hauptstrasse nach San Sebastian schön aufgeschlossen sind. An den meisten Stellen ist er nicht massiv, sondern in Fragmente zerrissen, die oft chaotisch mit Konglomeratkomponenten und Schieferfetzen des Wirtsgesteins vermengt sind. Der fluide Charakter dieses Gemenges zeigt sich daran, dass es manchmal intrusive Apophysen bildet. Die einzig mögliche Erklärung scheint darin zu liegen, dass der intrudierende Diorit durch Wasseraufnahme aus dem Nebengestein explosiv wurde, und dass zugleich der Porendruck des Wirtsgesteins sich durch Dampfbildung steigerte und es mobilisierte.

Von New Haven, Connecticut, beschreiben WALTON und O'SULLIVAN (1950) einen Gang von konglomeratischer Arkose, der von unten her in einen Dolerit-Sill intrudiert wurde. Das Gangmaterial geht kontinuierlich über in die liegenden Arkosen und Konglomerate triadischen Alters, die bis zu 5 cm grosse Quarzgerölle enthalten. Der Gang ist schmal, meist weniger als 10 cm breit, und misst auf 10 m Höhe, wo er sich im Gehängeschutt verliert, nur noch 3 mm. Gegenüber dem ursprünglichen Sediment ist der Gang reich an neugebildeten Mineralien, vor allem an sekundärem Quarz, Chlorit, Sphen, Epidot, Pyrit, Granat und Kalzit. Einige dieser Mineralien kleiden die Wände drusiger Hohlräume aus. Die Intrusion musste stattgefunden haben, als der Dolerit noch recht heiss war, jedoch kann die Temperatur nach dem auftretenden Quarz nicht höher als 575° C gewesen sein. Der Pyroxen der Gangwand wurde innerhalb einer Zone von etwa 3 mm Dicke serpentinisiert. Die Autoren gelangen zu folgendem Schluss über den Intrusionsmechanismus (p. 10):

“A short time after the intrusion solidified to the point where it was capable of fracturing like a brittle solid in response to sudden stress, some movement, possibly related to the abrupt offset in the sill floor a few feet from the dike, caused a fracture in the sill. The resulting dilatation caused a local fall in pressure... The response was a sudden, if not explosive, expansion of the water vapor or the liquid water present in the adjacent conglomerate. This brought the solid material in the conglomerate into a momentary state of suspension and it was swept into the fracture as a suspensoid...”

Bei der herrschenden hohen Temperatur und dem Druckabfall dürfte wohl Wasserdampf die entscheidende Rolle gespielt haben, dies wird auch von den

Drusen bezeugt. Der Intrusionsmechanismus entspricht damit ganz dem der San Antonio-Gänge, nur ist der Gasdruck durch vulkanische Erhitzung bedingt.

Zahlreiche Adern und Gänge aus ursprünglich sedimentären klastischen Gesteinen finden sich in den Karroo-Doleriten. Deren auffälligste Eigentümlichkeit ist nach WALKER und POLDERVAART (1949, p. 614) eine ausserordentliche Fähigkeit, die umgebenden Sedimente zu mobilisieren und metasomatisch zu verändern. Karroo-Sedimente aller Altersstufen und sogar noch ältere Sedimente wurden davon betroffen und treten nun allenthalben als rheomorphe Adern und Gänge auf. Zum Teil ist das Material in eine glasartige Substanz umgewandelt, zum Teil auch in Granophyre und Mikrogranite, die ganz magmatogen aussehen. Nach der offenbar herrschenden Auffassung ist die Mobilisation durch Aufschmelzen bedingt, doch stehen dieser Ansicht grosse Schwierigkeiten im Wege (WALKER und POLDERVAART, 1949, p. 675). Insbesondere zeigen die Mineralparagenesen, dass die intrudierenden Dolerite gar nicht übermässig heiss waren, und zum selben Schluss wird man durch den niedrigen Grad der Pyrometamorphose in den umgebenden Sedimenten gezwungen. REYNOLDS (1954, p. 684) vertritt daher die Auffassung, die rheomorphen Gänge könnten auf dieselbe Weise entstanden sein wie der klastische Gang von New Haven, nur unter höherer Temperatur und intensiverer Metasomatose. Anstatt also mit WALKER und POLDERVAART die Möglichkeit ins Auge zu fassen, dass das Magma abnorm reich an flüchtigen Bestandteilen gewesen sein könnte, bezieht REYNOLDS diese als Dampf aus dem Porenwasser der Sedimente. Da solches in allen klastischen Gesteinen reichlich vorhanden und in gut permeablen grobkörnigen Sedimenten auch ziemlich frei verfügbar ist, scheint uns diese Deutung sehr naheliegend. Es ist nur verwunderlich, dass phreatische Intrusionen klastischer Sedimente in magmatische Gänge nicht auch aus andern Erdgegenden viel häufiger gemeldet werden.

Wenn aber durch phreatische Intrusion eines fluidisierten Gemenges von klastischen Körnern und Wasserdampf Granophyrgänge gebildet werden, könnten dann intrusive Granite nicht ganz allgemein auf ähnliche Weise entstanden sein? Diesen Gedanken verfolgt REYNOLDS in ihrer schon mehrfach zitierten Arbeit. Ausgehend von den oben beschriebenen phreatischen Intrusionen und fortschreitend über auffällige Gangbrekzien wie die von Sudbury (FAIRBAIRN und ROBSON, 1942), deren Ausgestaltung und Transport nach Ansicht ihrer Bearbeiter nur durch strömende Gase erfolgt sein kann, weiter über die schon besprochenen Pseudotachylitgänge, über intrusive Granophyre in Nordirland etc., gelangt die Autorin schliesslich zur Betrachtung der Kontaktphänomene intrusiver Granitplutone. Hier spielt das Problem der Raumbeschaffung eine wesentliche Rolle. Seit DALY (1912) wird die Lösung dieses Problems meist im Prozess des «magmatic stoping» gesehen, einem Austauschvorgang, bei dem Schollen vom Dach des Magmaherdes losgelöst werden, in die Tiefe sinken und dergestalt das Magma in immer höhere Teile der Kruste aufsteigen lassen. Schollenkontakte werden gewöhnlich in diesem Sinne als Beweis für «magmatic stoping» gedeutet. Jedoch melden sich gegen die unbeschränkte Anwendung dieses Schemas mancherlei Bedenken. So zeigt sich bei genauer Beobachtung oft, dass scheinbar intrusive Pegmatit- oder Aplitadern durch metasomatische Verdrängung und nicht durch Auffüllen einer Zerrspalte entstanden sind (KING, 1948). Die Entstehung solcher Gänge liesse sich etwa wie

die der Gangmylonite deuten, mit der zusätzlichen Annahme intensiver Metasomatose und vollständiger Rekristallisation: Ein System von ursprünglich engen Klüftchen wird durch strömendes Gas erweitert, Mylonitkörner und kleine, von Klüften rings umgebene Gesteinspartikel werden losgelöst und helfen, vom Gase bewegt, bei der weiteren Abrasion kräftig mit, bis ein gewisser Bezirk des Wirtsgesteins von einem fluidisierten Gemisch erfüllt ist. Ein solches System ist ausserordentlich günstig für chemische Reaktionen zwischen Gas und Festteilchen, werden doch Fluidisierungsanlagen von der Industrie eigens zu diesem Zweck gebaut. Es findet eine Art übersteigter Pneumatolyse statt, die begünstigt wird durch die Agitation der Teilchen, durch die grosse reaktive Oberfläche und durch die fortdauernde Abrasion, bei der immer neue Kontaktflächen entblösst werden. Ausserdem eignen sich fluidisierte Systeme ausgezeichnet zum Wärmetransport. Dieser ist nach MICKLEY und TRILLING (1949) für die dichte Phase 3- bis 70mal grösser als für reines Gas unter gleichen Versuchsbedingungen. Dieser Umstand trägt dazu bei, dass die Aufschmelzung fluidisierter Krustenteile besonders leicht ist. Auf alle Fälle sind solche besonders empfindlich für metasomatische, homogenisierende, rekristallisierende Prozesse.

Überschreitet die Gasgeschwindigkeit eine gewisse Schwelle, so wird ein Teil der Festpartikel mitgerissen und Fluidaltextures entstehen. Aber auch schon bei mässigen Gasgeschwindigkeiten verhält sich die dichte Phase wie eine Flüssigkeit, sie wird bei einer Deformation der Wände zu strömen beginnen. Auch unter dieser Bedingung entwickeln sich Fliessformen. Das gleichzeitige Auftreten rheomorpher und statisch-metasomatischer Gänge, wie es manchmal beobachtet wird (GOODSPEED 1953), müsste also kein Kopfzerbrechen verursachen.

Die REYNOLDSche Argumentation geht aus von einem reichen Beobachtungsmaterial und scheint uns deswegen gewichtig. Die Beobachtungen beziehen sich jedoch durchwegs auf randliche Phänomene, und es fragt sich, in welcher Beziehung diese zur Masse des Plutons stehen. Hier ist die Feststellung wichtig, dass die fluidisierenden Gase oft sehr heiss sind und die Gesteinspartikel teilweise aufschmelzen. Sie dürften also einem wenigstens teilweise schmelzflüssigen Herd entstammen. Dann aber kann sich infolge des intensiven Wärmetransports in fluidisierten Systemen nur eine *fluidisierte Front* ausbilden, der Aufschmelzung auf dem Fusse folgt, zunächst selektiv, dann immer umfassender. Auf diese Weise könnte ein homogener Granit in höhere Krustenbezirke ohne Probleme der Platznahme «intrudieren», allerdings nicht als strömende Schmelze, sondern dank dem strömenden Gas, das mittels Fluidisation intrusive Metasomatose und intrusiven Wärmetransport bewirkt. Im Gegensatz dazu ist bei der landläufigen Granitisation Wärmetransport und Metasomatose ein diffuser Prozess, im übrigen würde es sich aber bei beiden Typen um metasomatische Bildungen handeln.

Sollte dieses Schema einleuchten, so bliebe natürlich immer noch die Frage abzuklären, warum sich im einen Falle die granitisierenden Prozesse diffus ausbreiten, im andern aber intrusiv auf einen bestimmten Raum konzentrieren. Nach unsern Ausführungen wäre es dazu vielleicht wesentlich, festzustellen, warum bei intrusiven Graniten grosse Gasmengen und ein definierter Migrationsraum zur Verfügung standen.

Wir sind bei der Verfolgung klastischer Intrusionen sozusagen zwangsläufig auf die schwierigen und weitgehend spekulativen Fragen der Granitbildung gestossen, es steht uns jedoch nicht zu, im Rahmen der vorliegenden Arbeit weiter in dieses Thema einzudringen. Immerhin können wir uns nicht versagen, einen Seitenblick zu werfen auf einen kontroversenreichen intrusiven Granit unserer Schweizer Alpen: den Bergeller Granit. Dieser durchschlägt bekanntlich das Deckengebäude diskordant wie ein richtiger Intrusivkörper, und trotzdem sieht sich DRESCHER-KADEN (1940) gezwungen, ihn auf Grund des Verhaltens der Einschlüsse und der Abbildungskristallisation als metasomatischen Körper zu deuten. Wir haben zu diesem scheinbaren Paradoxon nichts beizutragen ausser der Bemerkung, dass uns vor Jahren anlässlich einer Studentenexkursion mit Prof. P. BEARTH Gänge im Bereich des Bergellergranits aufgefallen sind, die eine Anzahl vollkommen gerundeter Einschlüsse enthielten. Sind diese Formen durch Abrasion im fluidisierten Medium entstanden wie in den zahlreichen von REYNOLDS angeführten Beispielen?

Es wurden bisher mobile klastische Systeme im vulkanisch-magmatischen Bereich untersucht, bei denen die Porenflüssigkeit aus Gas oder Grundwasser besteht. Eine besonders wichtige Rolle in den Vorstellungen, die man sich im allgemeinen über die Fliesstektonik des Unterbaues macht, spielen aber auch die Kristallbreie, deren Mobilität durch eine Porenschmelze bedingt ist.

Wie in sedimentären porösen Systemen sind hier zwei Extremfälle zu unterscheiden:

a) Die kompressive Belastung (geostatisch oder tektonisch) wirkt differentiell auf Festaggregat und Porenlösung. Diese wird ausgequetscht, das System wird kompaktiert. In solchen Fällen geht nach BARTH (1952, p. 303) die CLAPEYRONsche in die POYNTINGSche Formel über, die besagt, dass an den Punkten konzentrierten Druckes, also an den Kontaktstellen der Körner, Aufschmelzung begünstigt wird. Dann aber tragen die Körner einen wesentlichen Teil der Überlastung, sie bilden ein Aggregat mit fester innerer Reibung, nicht einen mobilen Quicksand. Wegen der hohen Temperaturen wird allerdings dadurch ein sehr langsames viskoses Fliesen nicht verhindert. Ausserdem stammt in sehr tiefen Krustenbezirken ein wesentlicher Teil des «hydrostatischen» Porendruckes von einer hohen Säule spezifisch schwerer Porenschmelze. Dies bewirkt, dass auch bei differentieller Belastung das Verhältnis von Porendruck zu Überlastungsdruck recht hoch werden kann.

b) Die Porenschmelze befindet sich in einem mehr oder weniger isolierten Reservoir, sie kann nicht in der Masse ausgequetscht werden, wie sie gebildet wird. Dann wird der Überlastungsdruck auf die Schmelze übertragen, ein «Quicksand» entsteht. Dann aber gilt wieder die CLAPEYRONsche Gleichung, der Schmelzpunkt wird erhöht, die Aufschmelzung erschwert. Ist anderseits das Reservoir auch für Gase isoliert, so werden diese (sofern sie im Überfluss zur Verfügung stehen) sich in viel höherem Masse in der Schmelze lösen und dergestalt den Schmelzpunkt erniedrigen (BARTH, 1952, p. 137 ff.). Dieser letztere Fall scheint die günstigsten Bedingungen für die Bildung mobiler Kristallbreie zu bieten.

Es ist zu erwarten, dass in einem mobilen Krustenbereich beide Typen nebeneinander vorkommen und sich auch zeitlich ablösen.

Zum Schluss sei noch ein besonders merkwürdiger Fall erwähnt, für den sich ebenfalls ausgezeichnete Vergleichspunkte bei den San Antonio-Gängen finden. Es handelt sich dabei um die von BARTH kurz diskutierten kristallinen Schiefer der Duches County, New York (BARTH, 1952, p. 305), also um Erscheinungen aus dem Reich der Metamorphose und nicht des Magmatismus; doch besteht für das hier behandelte Thema kein grundsätzlicher Unterschied zwischen den beiden, da die metamorphosierende Wärmeentwicklung zum grössten Teil magmatischen Ursprungs sein dürfte. BARTH schreibt:

“...in certain instances the material of the shear zones of the Duches County rocks should more properly be considered as argillaceous material squeezed in among the schistosity planes in a plastic state, together with the pore solution. The explanation is not clear; we are still in the dark as to how solid matter can be forced through narrow openings and move long distances. But observations from practically all metamorphic areas studied with this problem in mind indicate the reality of the process.”

Nun ist nach HUBBERT und RUBEY (1959, p. 157/158) die sogenannte «Plastizität» der Tone dadurch bedingt, dass bei Deformation normalerweise das Porenwasser nicht entweichen kann, so dass sich durch Erhöhung des Porendruckes die innere Reibung vermindert. Intrusive Tone wären demnach als durch Porenflüssigkeit mobilisierte klastische Massen aufzufassen. Weiter ist zu beachten, dass auch in kompressiven Systemen bei Scherung eine gewisse Dilatation auftritt, dass also Öffnungen entstehen (vgl. z. B. NADAI, 1950), die Gebiete von Unterdruck darstellen, in welche die mobilisierten Massen eindringen können. Tonige Substanz, die längs Scherflächen intrudiert wurde, ist eine allgemeine Erscheinung auch bei den San Antonio-Gängen. Das Milieu hier ist zwar anders, das Prinzip aber dasselbe.

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Die wenigen Beispiele mögen einen Eindruck davon vermittelt haben, wie weit verbreitet die Mobilisierung klastischer Massen in allen geologischen Bereichen ist. Das beruht natürlich darauf, dass wesentliche Teile der Kruste ein mechanisch heterogenes System sind und aus Festgerüst und Porenflüssigkeit bestehen. Solche Systeme sind vor allem von den Erdbaumechnikern untersucht worden, ihre geologische Rolle war schon längst für Oberflächenphänomene wie Hangrutschungen, Setzungserscheinungen etc. bekannt. In jüngster Zeit sind auch Überschiebungen unter demselben Gesichtswinkel betrachtet worden (HUBBERT und RUBEY, 1959, RUBEY und HUBBERT, 1959). Unsere Untersuchungen klastischer Intrusionen waren von den nämlichen Prinzipien geleitet.

Die Quintessenz bei allen diesen Vorgängen ist, dass die Deformation wesentlich erleichtert wird, wenn immer der Überlastungsdruck wenigstens teilweise auf die Porenflüssigkeit abgewälzt wird. In diesem Sinne entsprechen sich die Gleitdecken und disharmonischen Falten des Oberbaus und die Fliesstektonik des Unterbaus sowie die Quicksandintrusionen und klastischen Diapire im sedimentären Bereich und die Intrusionen von Kristallbrei im magmatischen Bereich.

Darüber hinaus liegen aber noch bei manchen klastischen Gängen Anzeichen vor, dass die Körner durch strömende Gase fluidisiert waren. Da Gase besonders im magmatischen Bereiche immer vorhanden sind, können auch solche Prozesse