

Die Bedeutung salzführender Schichten für tektonische Vorgänge.

Von

W. Deecke.

(Sonderabdruck aus den Berichten der Naturforschenden Gesellschaft
zu Freiburg i. Br. Band XX.)



Naumburg a. d. S.

G. Pätz'sche Buchdruckerei Lippert & Co. G. m. b. H.

1913.

Die Bedeutung salzführender Schichten für tektonische Vorgänge.

Von

W. Deecke.

Wenn wir die neueren Arbeiten über die Alpentektonik durchgehen, oder wenn uns die komplizierte Deckenbildung am Simplon, in Graubünden oder anderswo für die Deckentheorie beweisend gezeigt werden soll — dann wird in Wort und vor Ort mit Vorliebe die Wiederkehr der Gips- und Rauchwackenzone an den Hauptüberschiebungsf lächen hervorgehoben. In der Geologie des Faltenjuras spielt die an die Anhydritgruppe gebundene Überschiebung mesozoischer Schichten auf Tertiär am Hauenstein eine so große Rolle, daß BUXTORF von einer Abscheerung der jüngeren Schichten auf dieser Formationsabteilung redet. Gehen wir am westlichen Bruchrande des Schwarzwaldes oder an dem entsprechenden Oststeilabfall der Vogesen entlang, so liegt an sehr vielen Stellen Verwerfung oder flexurartige Schleppung zwischen oberem Muschelkalk und irgend welchen älteren Bildungen unter Verquetschung oder Schleppung der Anhydritgruppe vor (Gegend von Säckingen, Lörrach, Badenweiler, Emmendingen, Bergheim bei Rappoltsweiler usw.).

Bei all diesen verschiedenen tektonischen Prozessen tritt also unzweifelhaft die Bedeutung der Salzformationen hervor, und es erscheint daher angebracht, den Mechanismus etwas eingehender zu erörtern.

Im allgemeinen werden Steinsalzlager mit Anhydritstöcken, -Linsen und -Bändern zusammen ausgeschieden werden und beide eingebettet sein in wasserundurchlässige Tone. Sie bleiben, wie es

die silurischen, ja algonkischen Salze zeigen, bei ungestörter Lagerung unverändert erhalten. Wenn bei ruhiger Lage oder einfacher Bruchbildung Sickerwasser an die Salze herankommen, so werden anfangs zwar durch Auflösung von Salz Tone verrutschen, Tonmassen aus Salz und Gips frei werden und zwar so lange, bis sie selbst wieder dem Wasser den Zutritt zu den löslichen Substanzen verstopfen oder zum mindesten außerordentlich erschweren. Man hat so oft bei Bohrungen und in Bergwerken diese natürliche, aus Tonbreccien festester Packung bestehende Abdichtung angefahren, daß daran gar kein Zweifel sein kann. Einzelne Spalten und Klüfte werden auf diese Weise unschädlich, selbst Eruptiva, die wie in der Rhön in Schußkanälen oder sonstwie Salze durchdrungen haben, sind ohne wesentliche Gefährdung des ganzen Komplexes gefördert worden. Ja, es gewinnt den Anschein, als hätten hochgespannte, in die Salze eingedrungene CO_2 -Massen den Zutritt des Wassers durch ihren Druck sogar direkt verhindert.

Auch ein einfaches Absinken salzhaltiger Formationen schadet deren löslichen Einschlüssen so gut wie gar nichts, da wir an den Seiten längs der Klüfte undurchlässige Lettenbestege und wegen der Tieferlegung teils dichte Wände, teils erheblich erschwerten Wasserabfluß erhalten. Oft kann nur durch Diffusion das Salz an die Oberfläche oder in die zum Meere ablaufende Strömung hineingeraten, da mit zunehmender Tiefe in den Einbruchskesseln im allgemeinen das Grundwasser steht oder nur sehr langsam sich erneuert. Wir sehen ja tatsächlich, daß der Rheintalgraben im Oberelsaß und Oberbaden die tertiären Salze noch in mächtigen Massen birgt, daß die eingesenkten Streifen von Anhydritgruppe südlich des Dinkelberges die Salze des Muschelkalkes in erheblicher Dicke führen (Rheinfelden, Schweizerhalle), daß mit der Absenkung infolge des Fallens bei Dürrheim in Baden die mitteltriadischen Salze noch beinahe intakt vorhanden sind, die am Gebirgsrande bei Villingen, Marbach und Donaueschingen völlig ausgelaugt wurden.

Ich glaube, wenn man dazu noch kurz auf die einst tief abgesunkenen dyadischen Salze Norddeutschlands hinweist, so brauche ich dies kaum weiter auszuführen.

Aber ganz anders — und das ist das hier zu behandelnde wichtige neue Moment — stellt sich die Sache dar, sobald salzführende Formationen durch Hebung oder Faltung über den Spiegel des Grundwassers emporgebracht lang und andauernder Einwirkung sowohl der Auflösung, als auch zugleich der

tektonischen Bewegung ausgesetzt werden. Einzelne für den gesamten Schichtenverband und für die innere Konsistenz des bewegten Paketes wichtige Lagen verschwinden und zwar um so rascher, je größer das Gefäll des eindringenden Sickerwassers wird. Dieses kann bei schneller Aufwölbung und damit verbundener Spaltenbildung immer reichlicher eintreten und den Vernichtungsprozeß beschleunigen. Dann hat die natürliche Abdichtung keine Zeit, in Wirkung zu treten, neue Spalten reißen in diesem Rückstandsmaterial immer wieder auf, es hat in sich selbst keinen Zusammenhalt und kann, so lange die Bewegung dauert, auch keinen erlangen. Erst, nachdem Ruhe eingetreten, zementieren Kalk, Gips, auch Salz alle Klüfte und schützen den Rest, vor allem die Teile, die nicht über den Grundwasserstand mit lebhaftem Abflusse emporgestiegen sind.

Die einfachsten Verhältnisse derart haben wir z. B. im Dinkelberge zwischen Basel und Säckingen oder Schopfheim. Die Lage dieser Platte über Wiese, Wehra und Rhein hat die Anhydritgruppe völlig entsalzt. Die Anhydritgruppe ist nur noch 30—40 m mächtig, einzelne Gipslager sind erhalten, aber stark zerbrochen und angefressen; nur ganz selten findet sich Salz. In den tiefer gesunkenen Partien bei Rheinfelden und Schweizerhalle haben wir ca. 100 m mächtige Lagen mit dicken Salzlinsen. Also sind im Maximum 60 m im Dinkelberg ausgefallen, vielleicht weniger, aber immerhin soviel um die Muschelkalkplatte in sich zu lockern. Kein Wunder, daß sie in sich zerrüttet und verstürzt ist. Dasselbe gilt von den ostschwarzwälder Vorkommen von Villingen bis Waldshut und von vielen mittelschwäbischen Gebieten.

Komplizierter wird die Sache schon am Schwarzwald und Vogesenrande, wo Steilstellung eintrat und Absenkung zu bedeutender Tiefe eine raschere Auslaugung erzeugte. Ich persönlich kann nur von einer miozänen Hebung von Schwarzwald und Vogesen reden, da das meine Ansicht ist. Aber es ist für diese Frage ganz einerlei, ob Hebung oder Senkung oder beide zusammen eintraten. Die Hauptsache ist die Höhendifferenz bei andauernder Bewegung. Ausgelaugt werden Anhydritgruppe und Gipskeuper, die dadurch an Mächtigkeit verlieren und nun Zonen geringsten Widerstandes, also Gleitflächen erster Ordnung darstellen. Wie soll sich z. B. die Arietenkalkplatte auf ständig sich vermindern dem Gipskeuper, wie der Hauptmuschelkalk auf der Anhydritgruppe in schiefer Lage halten? Erst Biegung, dann

Bruch und Abgleiten ist die unvermeidliche Folge. Am Schwarzwaldrande liegen häufig Lias und Dogger konkordant, ebenso regelmäßig aufeinander Hauptmuschelkalk, Trigonodusdolomit und Lettenkohle. Erst in dem Gipskeuper beginnt die Menge der Störungen, die dann die Liasplatte durchsetzen, wie sie über der Anhydritgruppe die Muschelkalkplatte durchziehen und auf solche Auslaugungen am einfachsten zurückgeführt werden. Setzen Störungen durch den Wellenkalk bis in den Lias oder vom Keuper bis hinauf durch den Dogger, so sind das wichtige tektonische Spalten, da sonst die Keupermergel oder die mächtigen Lias- und Opalinustone einen Ausgleich untergeordneter Verschiebungen wohl hervorzurufen imstande sind. BUXTORF, CLOOS, v. BUBNOFF haben von dem Erlöschen gewisser sekundärer Spalten in den mächtigen weichen Gesteinen bei den Gräben des Tafeljuras und des Dinkelberges gute Beispiele gegeben. Die Gräben des letztgenannten Plateaus erlöschen als solche in der Anhydritgruppe. Solche sekundären, ursprünglich nicht weit nach oben in die Schichtenserie reichenden Sprünge sind durch Abtragung jetzt oft frei präpariert, schließen sich außerdem den Hauptverwerfungen naturgemäß an, da an denen ja die größte Bewegung, Zertrümmerung und Auflösung erfolgte. Arietenkalk und Muschelkalkplatte spielen an den Hauptrheintalbrüchen die wichtigste Rolle; an ihren Außenrändern gegen Osten und Westen liegen die wichtigsten Brüche. Das kommt zum großen Teil wohl eben daher, daß ihnen während der tektonischen Bewegung mit der Auflösung der Salze die Unterlage wich. Die Keupertone, die Anhydritdolomite sind an sich nicht so weich, daß sie als Schmier- oder Gleitmittel hätten dienen müssen. Man denke nur an die harten Steinmergel, die sonst die gleiche Funktion wie die Arietenkalkplatte übernehmen könnten. Frische Keupermergel sind recht fest, mindestens ebenso wie die Opalinustone oder Liasmergel. Wenn sie trotzdem so oft verdrückt sind, so sind eben daran die durch Auslaugung der Salze hervorgerufene innere Brüchigkeit und die damit zusammenhängende Durchfeuchtung schuld, die ja Mergel zerfallen läßt. Die im Eozän beginnende Entwicklung der Depression des Rheintalgrabens lockerte in der angegebenen Weise den Schichtenverband und schuf damit für die mittel- und oberoligozäne Grabenbildung in der Triasplatte die Stellen *minoris resistentiae*. Ein Teil der ausgelaugten triadischen Salze wurde in den tertiären Lagern der Rheinebene wieder ausgeschieden. Man bemerkt dort ebenso, daß die jungtertiären (mio-

zänen) oder diluvialen Nachwirkungen der Grabenbildung auch an alttertiären Salzmergeln und -Tonen zum zweiten Male die gleichen Wirkungen erzeugten, und daß diese Schichten wo sie den Rand des Gebirges ausmachen, in derselben Weise ausgelaugt und vermindert erscheinen. Dies tritt auch im Kaiserstuhl hervor, wo außerdem wohl infolge der so bedingten Brüchigkeit und Lockerung die unteroligozäne Stein- und Salzmergelzone auf das dichteste von Tephriten und ähnlichen Gängen durchschwärmt ist. Auf die Möglichkeit, daß ein Teil des Alkaligehaltes der oberrheinischen Eruptiva auf solche älteren Salze zurückgehen kann, ebenso wie im Hegau und in der Rhön und im Vogelsberg, sei auch hingewiesen. Analog dazu ist die Melilithbasaltförderung in den Kalkgebieten der Alb, wo Muschelkalk oder Malm vom Magma durchbrochen wurde (Wartenberg, Urach).

Auf der badischen Seite ist von Hagen bei Lörrach ab gegen Norden auf mehrere Kilometer Anhydritgruppe längs der Hauptspalte gegen Sandstein abgesunken. Dasselbe Formationsglied und Keuper bezeichnen den Sprung längs der unteren Wehra von Wehr bis Brennet am Rhein; bei Badenweiler ist mittlerer Muschelkalk längs der Thermalspalte entwickelt. Von Emmendingen bis Kenzingen spielt er an den Staffelbrüchen eine wichtige Rolle. Am Schönberg bei Merzhausen ist die Muschelkalkplatte arg durch sekundäre Risse zerbrochen. Ebenso ist es am Rande der Vogesen. Ich meine nun nicht, daß die Rheintalspalte allein durch dieses Verhalten der Salzsichten bedingt ist. Das ist ganz ausgeschlossen, weil wir den Hauptbruch oft im Sandstein verlaufen sehen, aber die mechanischen Vorgänge sind dadurch gesteigert und besonders auf bestimmte Schichtkomplexe konzentriert worden. Außerdem sind dadurch lokale Eigenbewegungen einzelner Schollen ermöglicht, die das Gesamtbild des Spaltenverlaufes komplizieren.

Ich nehme an, daß die oberrheinische Tiefebene dereinst eine schwache gegen Süden fallende Platte darstellte, deren Schichten gegen Norden der Reihe nach ausstrichen. Deshalb ist bei Kandern noch der Malm erhalten und bildet die Unterlage für oligozäne Sedimente, wie entsprechend im Norden das marine Oligozän bei Weinheim und Alzey auf Perm ruht. Demgemäß wird auch die Anhydritgruppe und vorher der Keuper bis zu einer gewissen Zone gereicht haben und nur von dieser an gegen Süden sind die eben beschriebenen Erscheinungen am Rande zu erwarten. Es würde die Grenze etwa in die Region Weißenburg—Wiesloch

fallen und in der Tat sind von dort gegen Süden vor Vogesen wie Schwarzwald die Vorhügelzonen besonders deutlich ausgeprägt und erreichen in der Trias- Jura- Bucht von Zabern und in der Scholle von Emmendingen, wo die Muschelkalkgruppe vorwaltet, ihre höchste Entwicklung. Das Resultat der infolge der Grabenbildung eingetretenen Auslaugung liegt uns, wie eben gesagt, in den oberrheinischen alttertiären Salzlagern klar vor Augen. Es ist also das Salz nicht etwa vorzugsweise durch Flüsse gegen Donau und Mosel geführt, sondern in diesem Bruchgebiet nach dessen abflußlosen Tiefen. Der Vorgang der Auslaugung und Störung ist, wie ich es vorher betonte, gleichzeitig geschehen. Wir beobachten im oligozänen Küstenkonglomerat massenhaft Muschelkalkgerölle, auch ein Beweis dafür, daß die Schichtenköpfe entblößt waren, ja sogar im unteroligozänen Süßwasserkalk bei Istein sind diese Gerölle schon vorhanden. Also waren die mittleren Triassschichten über den Grundwasserspiegel gehoben. Auf der Ostseite des Schwarzwaldes kann derselbe Vorgang jünger, miozän sein; dort ist es nicht zu so bedeutender Absenkung und daher auch nicht zu so ausgesprochenen Formen gelangt. Je weiter nach Süden, um so tiefer lag im Oberrheingebiet das Salz und deshalb ist es in der Furche des Rheinlaufes südlich vom Dinkelberg noch heute erhalten und konnte auch bei der Jurafaltung die Rolle spielen, die ihm Buxtorf zuschreibt und die wir jetzt anschließend besprechen wollen.

Die einfache Bruchbildung kann in anderen Gegenden durch Faltung ersetzt werden. Dann ändern sich die Erscheinungen solcher salzführenden Lager erheblich. Die über das Grundwasser emporgedrückten ausgelaugten Sättel verlieren das innere feste Gefüge, und es muß notwendig zu Zerreißen längs der Sattelachse kommen oder zu Verdrückungen des Sattelkernes. Diese Richtungen sind, wenn die Faltung weitergeht, nun eo ipso vorgezeichnet als Überschiebungslinien. Man denke sich den Fall der unverminderten Anhydritgruppe in den Dinkelbergen und bei Rheinfeldern als bewegtes Gewölbe, d. h. oben ein Minus von in Maximo 60 m während der Faltung entstehend. Die höchsten Teile des Sattels brechen einfach zusammen und die weiter aufgedrehten, schieben sich, weil sie gerade dort ausweichen können und Platz haben, über die Anhydritgruppe hinüber. Es entsteht Schuppung bei Überschiebung. Am Hauenstein hat A. MÜHLBERG zwei kleine, auch von MANDY konstatierte Schuppen

von Arietenkalk auf Keuper nachgewiesen. Die denke ich mir auf solche Weise gebildet. Eine Reihe von kleinen unregelmäßig laufenden Störungen, die CELLIERS in der Lagerung des Lias an der Bölchenfluh bei Eptingen beobachtete, führe ich auf die gleiche Ursache, Auslaugung des Gipskeupers, zurück.

Nun denke man sich alte bedeutende Sprünge, an deren einer Seite verhältnismäßig hochliegende Anhydritgruppe an jurassische oder tertiäre Sedimente stieß, in eine solche Faltung hineingezogen. Nicht nur wird die Verwerfung sich selbst schief legen, es wird an diesem alten Riß auch die Hauptbewegung erfolgen wegen der heterogenen, sich berührenden Gesteine, und drittens setzt beim Aufpressen die Auslaugung ein. Die auf der Anhydritgruppe ruhende, vorbewegte Muschelkalkplatte bricht vorne nieder; dadurch ist ihr hinten liegender, neuentstandener Bruchrand höher. Die Bewegung geht weiter und schiebt dieses zweite Stück an und auf das erste hinauf, eventuell das erste noch etwas weiter vor. Gleichzeitig schwinden im zweiten Stück die Salze. Das Spiel kann weiter gehen, so daß eine dritte und noch mehr Muschelkalkschuppen sich flach aufeinanderlegen und das Ganze auf eine anormale Unterlage. So erhalten wir die Schuppen am Hauenstein und längs des Überschiebungsrandes der Grenze zwischen Falten- und Tafeljura, die von A. MÜHLBERG entdeckt und eingehend beschrieben sind. Diese Schuppen haben stets Anhydritgruppe als Basis oder Gleitschlitten, genau so wie längs der Schwarzwaldverwerfung an den genannten Stellen. Da ältere Schichten im Faltenjura nicht sichtbar werden, hat BUXTORF die Theorie einer Abscheerung auf der Anhydritgruppe aufgestellt, die da sagt, daß das ältere Gebirge bis zum mittleren Muschelkalk in Ruhe geblieben ist, während die eigentliche Jurafaltung sich in den von der Anhydritgruppe an hangenden Schichten vollzogen habe. Aber BUXTORF selbst muß für die große Überschiebung doch eine Art vorhandener Disposition annehmen. Darin stimme ich mit ihm überein, vor allem darin, daß die isolierten Dogger- und Malmfetzen des Überschiebungsrandes nur aufgeschürfte Teile der Tafelstirn darstellen. Aus ihnen langausgezogene, liegende Falten zu konstruieren, wie MÜHLBERG und STEINMANN es getan haben, ist vorläufig bei der mangelnden Kenntnis von den tiefen Teilen der Überschiebungszone unangebracht. Meine Ansicht geht dahin, daß der Überschiebungsrand, der O.—W. läuft, also in ältere Schwarzwaldtektonik hineinpaßt, eine vor der Faltung höher gelegene Scholle gegen Norden be-

grenzte, an welcher der Tafeljura mit seiner nach Süden sinkenden Juranagelfluhdecke nach Art der Schwarzwald- oder Vogesenrand-schollen abgesunken war. Die jungtertiäre Jurafaltung geht mit scharf ausgesprochenem Charakter nur ganz wenig über diese Zone nach Norden; der Rand des Tafeljuras ist noch gestaut, der ganze nördliche Teil der Platte nur gewellt. Ich denke mir das Verhältnis ähnlich, wie am Rheintal zwischen Basel und Säkingen, wo ja der Tafeljura über der Rheintalfurche auch jetzt noch eine relativ hohe Lage hat. Längs der Rheinlinie sind jetzt in der Tiefe die Anhydrit- und Salzmassen vorhanden; eine erneute Stauchung von Süden könnte längs des Flusses eine ganz ähnliche Überschiebung über die Dinkelbergplatte im weiteren Sinne hervorrufen. Auch das O.—W. laufende untere Tal der Wiese zeigt ähnliche allgemeine Verhältnisse, nur daß dort eine solche Überschiebung nicht möglich sein würde, weil im Dinkelberg die Salze bereits verschwunden sind. Die Juraüberschiebung ist für mich eine Art Aufbäumen an einem Hindernis, verbunden mit einem Abscheeren des Faltungsstirnrandes auf der Anhydritgruppe und zwar z. T. infolge der Auslaugung der Salze während des Faltenwurfes. Solange die harte Muschelkalkplatte noch in toto gegen den Rand des Hindernisses drückte, riß sie die Schollen von Lias und Dogger los und preßte sie nach vorn; sobald sie zerbrochen war, erfuhr sie dasselbe Schicksal und erzeugte die auf eingepreßten, zerrütteten Anhydritmassen liegenden Schuppen. Während BUXTOFF in der Abscheerung eine tiefergreifende allgemeine Erscheinung erblickt, möchte ich an eine lokale, auf relativ schmaler Zone erfolgte Stauchung glauben, die 1. in einer geologisch dafür vorgebildeten Zone erfolgte, 2. in der Verminderung und Lockerung der Anhydritgruppe ihre Ursache hat.

Lehrreich sind in der Hinsicht die Beobachtungen an den norddeutschen Salzlagerern. Dort findet man zwischen gesunkenen Schollen meistens in den Bruchzonen die Salze der Tiefe hochkommen durch spätere Umlagerung und zwar in den Richtungen der Gesamttektonik. Solche alten, mit Salz erfüllten Spalten sind die gegebenen Trennungsflächen, wenn die Massen eine Bewegung und zwar eine verschiedene, durch Widerstände modifizierte, resp. gesteigerte Verschiebung erfahren, selbst abgesehen von der Plastizität der Salze, die natürlich den Gesamtvorgang sehr begünstigt.

Noch ein sehr wichtiges Verhalten einiger Teile des euro-

päischen Alpensystems ist durch die Salzformationen erklärlich. Die Westalpen stellen mit den Chaînes subalpines bis zum Rhône-durchbruch ein einheitliches Gebilde dar, das sich am Massiv des Plateau central mächtig gestaut hat. Es fehlen längs des Rhône-tales so isolierte, vorgelagerte Ketten wie der schweizerische Jura. Am Plateau central kennen wir auch keine Anhydritgruppe. Muschelkalk ist im Süden des Rhônétals entwickelt; bei Valence und an den benachbarten Rändern des Zentralplateaus fehlen aber sowohl mächtige mittlere Muschelkalk-, als auch Keupersalze, von denen die letzten nur in Spuren erscheinen. Die Trias in den Cevennen und in der ganzen Zone östlich vom Plateau central ist sandig; erst in dem Dept. Haut-Saône erscheint der sehr reduzierte (15 m) Muschelkalk wieder, um am Rande des Plateaus de la Serre 40 m zu erreichen. Die stärkere Ausbildung der Anhydritgruppe mag mit Ursache sein in der Verschiedenheit der Faltungskette östlich vom Zentralplateau und südlich von Vogesen und Schwarzwald, wobei an dem letzten die Faltung sich bis zur Überschiebung zu steigern vermochte. Die etwas weiter nördlich gerückten Vogesen haben als Analogon die Lomontkette, die aber nicht so weit aufgerissen ist, daß die triadischen Bildungen zutage traten und ausgelaugt werden konnten. Vielleicht war auch weniger Salz in ihnen ausgeschieden. — Im Osten des Alpenbogens aber haben wir die mächtigen Miozänsalze, die für den Karpathenbogen etwa die Rolle spielen, wie die triadischen für den Basler Jura. Freilich besteht der Unterschied, daß bei den Karpathen die Salzformation passiv überschoben wurde. Die eigentümlichen als Pli-diapir beschriebenen hochgedrückten Salzfalten Rumäniens gehören in diese Gruppe. Es sind Druckwirkungen, bei denen man sich sehr wohl ein Drängen der unterliegenden Schichten in tektonische Auflösungs-zonen vorstellen könnte. Aber, da mir die dortigen Lagerungsverhältnisse nur nach der Literatur bekannt sind, will ich nicht weiter darauf eingehen.

Mit diesem Resultate wende ich mich nun zu den lombardischen Alpen. Die ursprünglich, noch vor 20 Jahren angenommene gleichmäßige Lagerung mit relativ einfachem Faltenwurf hat durch die neueren Untersuchungen einer mannigfachen Zerreißen der Schichten mit Überschiebungen in wechselndem Sinne Platz gemacht. Die Arbeiten von PHILIPPI haben in der südlichen Grigna und am Resegone, also am Comer See, weitreichende Überschiebungen konstatiert; dann hat PORRO die Triaszone der Bergamasker Alpen studiert und

dort dasselbe gefunden; drittens v. BISTRAM gleiche Lagerung am Luganer See beobachtet. Ein Blick auf die Karten von PHILIPPI und PORRO zeigt, daß die Überschiebungen gebunden sind an die Zonen des Servino und der Raibler Schichten. Beide sind aber Salz- und Gipshorizonte. Man könnte meinen, daß der tonige Charakter dabei eine Hauptrolle spiele und die weicheren Schichten als solche zwischen den harten Kalk- und Dolomitklötzen nachgegeben hätten und verdrückt wären. Das kommt oft genug in den Alpen vor (Flysch, Bündner, Schiefer usw.); aber man muß in diesem Falle ähnliche Schieferkomplexe in der Nachbarschaft vergleichen und wird finden, daß die Kössener Schichten mit ihren viel weicheren schwarzen Schiefen nur gefaltet und verknittert, kaum in gleichem Betrage von seitlichen Massen überschoben sind wie die Raibler Schichten. Außerdem liegen die wichtigsten Schuppungszonen zwischen Hauptdolomit und dem oberen Raibler Niveau. Die übrigen Schichten sind z. B. in der Val Brembana nur aufgewölbt oder gefaltet, während die Gipsregion die stärkste Verdrückung zeigt. Die vielen Rauchwacken und schwachen Salzquellen (Bagni di S. Pellegrino) beweisen, daß Salzmassen einst diesem Niveau eigen waren, aber ganz ausgezogen sind. Lokal ist noch Gips, wie in der Anhydritgruppe, erhalten geblieben. Der Servino ist erst weiter östlich (Volpino bei Lovere) stärker anhydrit- oder gipsführend. In den Bergamasker Alpen ist er oft ganz überhoben, daher unsichtbar, am Comersee bei Varenna sind aber Rauchwacken zu konstatieren. Niemand wird leugnen können, daß die Raibler Gipszone in den lombardischen Alpen dieselbe Rolle spielt, wie die Anhydritgruppe in unserem südwestdeutschen Gebiete und im Jura-gebirge; auch ist aus den Ostalpen die Bedeutung dieses Horizontes als „Gleitbretter“ hervorgehoben.

Diese lombardischen Salzhorizonte finden ihre Fortsetzung im Westen in den piemontesischen und französischen Alpen; wo die Trias als Sandstein und Dolomit mit mindestens zwei Rauchwackenhorizonten entwickelt ist. Wieviel Salz und Gips dort ursprünglich abgeschieden war, entzieht sich unserer Kenntnis. Immerhin sind die Rauchwacken oft sehr mächtig, was freilich auch Folge der Zusammenstauung sein kann. Gelegentlich des internationalen Geologenkongresses hatte ich Gelegenheit, unter Führung der Herren KILIAN und MARCEL BERTRAND am Col du Lautaret, am Grand Galibier und am Mt. Joly diese Schichten und ihr Auftreten zu sehen. Eigenartig sind am Galibier die steilgestellten, einseitigen

Falten, die auf dem anderen Flügel abgerissen sind und die Unterlage, Karbon oder Gneis, hervortreten lassen. Man kann sich wohl vorstellen, daß dieser oft wiederkehrende Falten Typus z. T. auf primäre Diskordanz zurückgeht, die man bei dem Übergreifen der Trias anzunehmen hätte. Aber dann sind die Luftverbindungssättel überflüssig. Man könnte auch starke Faltung vermuten, bei welcher die Sättel zerrissen und ihre Teile aneinander verschoben wurden. Das ließe sich wieder sehr einfach erklären, wenn Salze während der tektonischen Prozesse verschwunden sind und an solchen Stellen das von unten nachdrängende Gestein an deren Platz gerückt ist. Wenn sich das mehrfach wiederholt, so gelangen wir zu vollkommener Schuppung. Am Fort Montdauphin südlich von Briançon habe ich an der Durchbruchspforte der Durance unter freundlicher Führung der Kollegen KILIAN und LORY zweimal die große Überschiebung und steile Faltung mit dem hochgepreßten Karbon gesehen, wobei wieder gipshaltige Schichten eine wichtige Rolle spielen. Wenn in den lombardischen Alpen die Verdrückung den gleichen hohen Grad erreicht hätte, würde man an den Raibler Schichten Ähnliches beobachten. Am Mt. Joly sehen wir die eigentümliche Verzahnung von Liegendem und Trias, die RITTEB und MARCEL BERTRAND studierten und die immer als Typus von Wurzeln überkippter, langausgezogener Falten aufgefaßt wird, ja als das schönste Beispiel dieser Art in Diapositiven und Bildern vorgeführt zu werden pflegt. Sehr bemerkenswert erscheint mir der Knick zwischen dem horizontalen Liaspaket mit der Doggermulde im Gegensatz zu den steilgestellten Triasrauchwacken zwischen den Grundgebirgspeilern. Nicht für die ganze große Faltung, wohl aber für die Umbiegung gerade an dieser Stelle möchte ich die Auslaugung der Salze verantwortlich machen, ferner darauf die Verzahnung des Grundgebirges mit der Trias in dem eben erörterten Sinne zurückführen. Man muß sich durch das bekannte Bild nicht irreführen lassen; das ist zum großen Teil Kombination. Die Umbiegungsstellen der Liaswurzeln sind keineswegs alle so klar zu sehen, wie es nach der Abbildung den Anschein hat. Es ist jedenfalls zu beachten, daß auch im Dauphiné der Grad der Überschiebungen und die Deckenstruktur sich steigern mit dem Herausreten und mit der Zunahme der Triasschichten.

Von diesen französischen, noch relativ einfachen Vorkommen gelange ich zu den Decken der Schweiz und zwar zunächst zu den von SCHMIDT und PREISWERK beschriebenen Simplonprofilen. Die

Bedeutung der Rauchwackenzonen für die Tektonik und den Mechanismus der großen alpinen Überschiebungen haben beide Autoren so energisch betont, daß ich kein Wort mehr darüber zu sagen brauche. Ja es ist sogar bei anderen Autoren beinahe Schema geworden, mit jeder Rauchwackelage eine neue Decke oder Teildecke zu beginnen. Demgegenüber möchte ich betonen, daß wir in weiten Gebieten mindestens zwei solcher Komplexe (untere und obere Trias) annehmen dürfen; es können aber ursprünglich in diesen an Hebungen und Senkungen wechselreichen Gebiete noch mehr gewesen sein. Das ist freilich bei dem Fehlen sicherer stratigraphischer Anhaltspunkte schwer zu ermitteln. Ich möchte hier nun versuchen, mit Hilfe dieser Salzformationen die Bewegung einzelner alpiner Massen etwas verständlicher zu machen, als sie bisher mit Hilfe der langen liegenden, wie aus einer breiten Tube kittartig ausgedrückten Falten möglich war.

Wir müssen, wenn wir uns das Simplonprofil auch ohne alle Luftsättel und unterirdische Verbindungen auseinanderlegen, wenn wir ferner die Verbreitung der Rauchwacken südlich des Gotthard und in Graubünden berücksichtigen, ursprünglich recht weite Flächen solcher Salzformationen im Gebiete der Alpen annehmen. Diese Sedimente waren im allgemeinen durch jüngere Schichten zugedeckt, wahrscheinlich in mannigfacher Weise abgesunken und zum größten Teil in der Tiefe lagernd. Bei dieser vor der Flyschbildung erfolgten Zerstückelung der Alpen in Horste und Gräben werden wir ähnliche Verhältnisse anzunehmen haben, wie am Schwarzwaldrande. Wir kommen der Wirklichkeit wohl noch näher, wenn wir die Struktur Norddeutschlands um und nördlich vor dem Harz für die westschweizerischen Alpen voraussetzen, nämlich zahlreich verschieden tief gesunkene, von Salzen in wechselndem Niveau durchgesetzte Schollen annehmen. Auf deren Trennungsklüften ist bereits umkristallisiertes und plastisch verändertes Salz entwickelt. Man denke sich nun solche herzynisch oder rheinisch streichende Schollen und Brüche von einer aus Süden oder Südwesten kommenden Faltung oder Aufwölbung erfaßt. Die Salzsichten waren die natürlichen Gleitflächen, und bei der beginnenden Faltung lieferte ihr Ausstreichen an Bruchrändern die natürlichen Verschiebungsflächen. Wenn nun nach Art der Überschiebung am Hauenstein statt der eigentlichen Biegung an diesen Salzsichten eine Zertrümmerung und eine fortschreitende Schuppung erfolgte, die besonders an bereits vorhandenen Störungen einsetzte, so ist eine

Lagerung wie im Simplontunnel wohl verständlich zu machen. Dabei mag dort, wo die Faltung begann, die erste Schuppe entstanden sein, die bei nach Norden fortschreitender Bewegung von einer zweiten unterlagert und mit dieser fortgetragen resp. gehoben wurde. Das wird sich mehrfach wiederholt haben, und schließlich, als die Hauptfaltung den zentralen Teil der Alpen emporpreßte, sind die so neuentstandenen, aus heterogenen Elementen aufgebauten Schichtpakete wirklich gefaltet und gestaucht und konnten diesen Prozeß dann auch erleiden, weil die Hauptmasse der Salze herausgelöst war, also das Ganze sich wie normale Schichtenserien verhielt.

Aus der schönen lehrreichen Karte des Simplon von SCHMIDT und PREISWERK und aus den Profilen ergibt sich, daß sich um das Simplonmassive drei tektonische Elemente deutlich herausheben: 1. der NO. streichende Zug des Rhônetales, 2. die mittlere O.—W. laufende Zone der Val di Vedro und 3. die NNO. streichende Faltung der Val Antigorio. Der Faltenwurf war also keineswegs einheitlich, sondern äußerte sich, wenn wir von den Resultaten ausgehen, in dreierlei verschiedenem Sinne. Es sieht ganz so aus, als hätte ursprünglich zwischen 1 und 3 eine mittlere, tiefer gelegene Zone existiert, im wesentlichen aufgebaut aus Trias und Jura (Bündnerschiefer), vielleicht ein Graben, der sich nach Art des Bonndorfer Grabens gegen NO. ausspitzte. Ein solcher Graben ließe sich aus den Profilen sogar mit stufenförmigem Absinken im Norden und mit steilen Absetzen gegen Grundgebirge im Süden ganz gut rekonstruieren. Die Faltung hat von SO. her den nordöstlichen Abschnitt mit dem alten Bruchrande überschoben, dabei die Trias und Bündnerschichten längs der vorhandenen Spalten geschuppt, und wie am Grd. Galibier und am Mt. Joly ist in die nachgiebigen Salzmassen keilförmig, diese letzteren mitreißend, das Grundgebirge ein- und aufgepreßt. Wir brauchen dann gar nicht die vielen, sehr eigentümlich in der Luft sich ausspitzenden Mulden und Sättel, sowie die problematischen unter den Meeresspiegel 3 km hinabreichenden Verbindungen. Nachdem die Schuppung und Überschiebung fertig waren, zum größten Teil die überfalteten Partien von dem Autochthonen getrennt waren, erfolgte die eigentliche Faltung und damit das Einsacken der Granit- und Lebedungneispartien auf dem Mesozoicum, sowie die Emporwölbung des Granits im Diverstäl.

Das gleiche Prinzip wäre meiner Ansicht nach auf die Klippen

vor dem Aarmassiv und am Vierwaldstätter See anzuwenden, wobei ich betone, daß die alten Bruchlinien und Streichrichtungen, daher die ursprüngliche Verteilung der Sedimente nicht mit dem heutigen Streichen der Alpen zusammenzufallen braucht. Es ist bemerkenswert, daß gerade Gipshorizonte und Rauchwacken bei diesen Klippen im Gegensatze zu dem Rötidolomit des Autochthonen entwickelt sind. Denken wir uns überhaupt im ursprünglichen Gebiete der Nordalpen ein Fallen von Trias und Jura nach NW. oder NO., so wird bei der Faltung von Süden her ganz von selbst das eigenartige scheinbare Zurückbleiben der älteren Schichten, also der Sattelkerne, eintreten müssen. Vorne werden die jüngsten Teile überschoben (Kreide in Chablais), der mittlere Teil wird verknittert (Dogger und Lias), die Basis der Trias spitzwinklig eingefaltet oder geschuppt. Nur ist dabei vorauszusetzen, daß die Schichten gegen die faltende Kraft nacheinander ausstrichen. Wenn man jetzt die ganze Serie aus Wurzeln ausquetschen will, dann setzt das voraus, daß regelmäßige Schichtenbedeckung ohne Ausstreichen der älteren Bildungen ursprünglich vorhanden war, und dafür ist noch nirgends der Beweis erbracht worden.

Hier sei eine Betrachtung allgemeiner Art eingefügt. Ich meine, bei der Deckentheorie und heutigen Auffassung der Alpentektonik zieht als roter Faden durch das Ganze das Faltenschema, wie es A. HEIM entwickelte, hindurch, nur durch Steigerung modifiziert. Davon muß man sich los machen. Gefaltet ist ein mannigfach gestörtes, von Gräben, Horsten, ja wohl von alten Überschiebungen durchzogenes Gebiet. In diesem haben ausfallende Schichtkomplexe, wie die Salzformation, vielfache Schuppung erzeugt. Nachdem das alles schon geschehen, erfolgte der Faltenwurf, der nun natürlich sehr komplizierte Bilder erzeugte und zwar um so mehr, als er quer zu älteren tektonischen Elementen eintrat. In Norddeutschland ist Stille bei Besprechung der hannöverschen Salzlagerstätten zu ähnlichen Vorstellungen gelangt. Er vergleicht die dortigen Lagerungsverhältnisse mit einem Wellblech (1. Faltung), das quer von einer zweiten Faltung durchsetzt wird. Es ist schwer, sich von der dadurch erzeugten Lagerung ein zutreffendes Bild zu machen, so daß man sich den mechanischen Vorgang im Einzelnen wirklich vor Augen führen kann. Man wird sich aber an solche Vorstellungen gewöhnen müssen, und so viel ist ganz sicher, Klarheit wird erst dann zu erlangen sein, wenn man auf all die phantastischen Luftsättel und unterirdischen Verbindungen verzichtet und solche nur

da einträgt, wo sie wirklich beobachtet wurden. Überschiebungen brauchen ferner nicht nur aus Faltung entstanden zu sein. Primäre Diskordanzen, Verwerfungen erscheinen im Faltungsgebiete nachträglich in dieser Form, und ältere mitgefaltete Horste, Inseln etc. müssen uns als Überschiebungen entgegentreten. Daß bei dem Überwallen der Ränder eines Grabens, bei dem Verschieben eines älteren Kerns in horizontaler oder schräger Richtung Reibungs-breccien sich bilden, ist völlig klar. Dies ist also kein Beweis für Faltenüberschiebung. Ist dem aber so, muß „Decke“ entweder anders definiert oder in mehrere Gruppen zerlegt werden. Man müßte Faltungsdecke, Schuppendecke und Pseudodecken unterscheiden und unter den letzten solche aus primärer Transgression und älterer Bruchbildung entstandene Erscheinungsformen.

In einem besonderen Aufsätze über die alpine Geosynklinale¹⁾ habe ich darauf hingewiesen, daß die Alpen im ganzen Mesozikum ungemein wechselnde Fazies in sich erzeugt haben, daß diese wieder mit beständig wechselnden, bald hier, bald da einsetzenden Hebungen und Senkungen in Verbindung standen; denn rascher Wechsel der Fazies ist ein Ausdruck der tektonischen Bewegungen.

Zum Schlusse möchte ich noch betonen: Man möge mich nicht mißverstehen, etwa so, daß ich nun alle Überschiebungen auf die Anwesenheit von Salzformationen ursächlich zurückführe. Dem ist nicht so. Die große von den schottischen Hochlanden her über Norwegen bis nach Lappland verfolgbare Überschiebungslinie könnte nur sehr gezwungen mittels salzigen Oldred hier untergebracht werden. Sie ist aber auch etwas ganz anderes als die alpinen Erscheinungen, als die Decken. Es ist das Überwallen einer Faltung über den Rand eines alten Massivs, wahrscheinlich längs alter tektonischer Linien. Zur Deckenbildung wie in den Alpen ist es nicht gekommen; von so lang ausgezogenen Falten redet dort niemand; man denkt sogar eher an ein Überquellen, so daß pilzartige Form der herausgedrückten Massen von einem Autor angenommen wurde. Im allgemeinen macht das Ganze mehr den Eindruck von Schuppung in einer Pressungszone, wie etwa die Schollen des Polareises sich übereinanderschoben oder bei dem Widerstande des Schiffes sich auftürmen und schließlich über dieses hinweggehen und zwar infolge einer unter der harten Decke durch Wind oder Gezeiten bedingten Wellenbewegung. Auch in der Zone

1) Neues Jahrb. f. Mineral. usw. Beil. Bd. 33, 1912.

der helvetischen Sedimente spielen salzführende Schichten keine Rolle, sondern eher alte Transgressionen und Diskordanzen, was sich aus der verschiedenen Mächtigkeit und Facies der unteren Kreide, aus dem Fehlen und der oft wesentlichen anderen Verteilung der oberen Kreide und der wieder davon verschiedenen Flyschbildung ergibt.

In den mittleren Alpen haben wir auch ein nach Norden und Süden erfolgtes Überquellen. Das nördliche angeblich primäre hat durch die gestaute Molasse seine Grenze erhalten und durch die vorgelagerten alten süddeutschen Massive, das südliche wird immer als ein sekundäres aufgefaßt, als verursacht durch ein jüngeres Absinken der Poebene. Die Überschiebungen am Comer See und in den lombardischen Alpen zeigen diese Neigung nach außen ganz klar. Wenn aber dem so ist, warum soll eigentlich der Faltungsschub so ausschließlich von Süden gekommen sein? Für den Simplon wird eine Kuppelbildung zugegeben. Wenn eine starke Emporwölbung einer zentralen Zone: Mte. Argentera, Pelvoux, Mt. Blanc, Aar-Gotthardmassiv, Ortler, Tauern erfolgte, so mußte gegen N. ein kräftiger, von Süden und Osten kommender Schub eintreten, am südlichen entfernteren Rande ein solcher von Norden, resp. Westen. Das gibt auch die Fächerstellung der Zentralmassive, an der bisher noch nicht gerüttelt ist und die sonst unverständlich bleibt, wenn alles von Süden über jene Massive hinwegtransportiert sein soll. Die endgültige zentrale Heraufschichtung großer Eruptivmassen auch älterer Natur zwingt die Ränder zum Ausweichen, was erst durch Faltung, dann durch Überschiebung allein möglich ist und dabei haben alte Bruchlinien und Transgressionen, und in manchen Teilen des Gebirges nicht zuletzt die salzführenden Komplexe eine bestimmende Rolle gespielt.