

DIE BEDEUTUNG
DER MESSUNG UND KARTIERUNG VON
GEMEINEN KLÜFTEN UND HARNISCHEN
MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG
DES RHEINTAL-GRABENS.

VON
WILHELM SALOMON
IN HEIDELBERG.

SONDER-ABDRUCK AUS DER ZEITSCHRIFT DER DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN
GESELLSCHAFT, BAND 63, JAHRGANG 1911, ABHANDLUNGEN, HEFT 4.

**Die Bedeutung der Messung
und Kartierung von gemeinen Klüften und
Harnischen, mit besonderer Berücksichtigung
des Rheintal-Grabens.**

Von WILHELM SALOMON in Heidelberg.

Mit 7 Textfiguren.

1. Die gemeinen Klüfte.

Als „gemeine Klüfte“ will ich im folgenden im Gegensatz zu den „Harnischen“ alle Gesteinsspalten ohne Rücksicht auf ihre Bildungsart bezeichnen, deren Wandflächen keine Glättung besitzen. Hierher gehören also alle Diaklasen im DAUBRÉESchen Sinne, aber auch ein Teil seiner Paraklasen. Denn diese brauchen keineswegs immer eine Wandpolitur zu besitzen. Auch können sie eine ursprünglich vorhandene Politur durch Verwitterung wieder einbüßen. In diesem Falle aber wird man sie bei der Kartierung als gemeine Klüfte eintragen.

Unter den gemeinen Klüften werden wir ferner auch die drei Gruppen von Klüften antreffen, die ich als Druckfugen, Strukturfugen und Verwitterungsfugen bezeichnet habe¹⁾. Denn nur ein kleiner Teil der Druckfugen pflegt als Harnisch entwickelt zu sein.

Von den 3 genannten, von mir unterschiedenen Typen der gemeinen Klüfte haben die reinen Verwitterungsfugen zwar oft eine sehr große praktische Bedeutung; aber sie geben uns, soweit sie wirklich rein, d. h. nicht durch die Gesteinsbeschaffenheit oder die Tektonik prädisponiert sind, im allgemeinen keine Auskunft, die eine systematische Messung und

¹⁾ Sitz.-Ber. Kgl. Preuß. Akademie d. Wiss. Berlin 1899, S. 31 und „Steinbruch“, Jahrgang 1911, Heft 20, S. 227–228. — Es ist ausdrücklich hervorzuheben, daß keine meiner drei Gruppen sich genau mit einer der DAUBRÉESchen Gruppen deckt, „Paraklasen“ sind allerdings stets „Druckfugen“, aber nicht alle „Druckfugen“ sind „Paraklasen“.

Kartierung wichtig erscheinen ließe. Höchstens bei der Frage nach dem Mechanismus der Gletschererosion könnte es vorteilhaft sein ihrer Kartierung Zeit zu widmen, um festzustellen, wie weit die Auflockerung des Gesteines in inter- oder präglazialer Zeit geht, und wie weit die Fugenbildung unabhängig von der Form des Gesteinskörpers und der Tektonik, aber abhängig von den Oberflächenformen ist¹⁾. Es ist z. B. strittig, ob die Klüftung des Finsteraarhorngranites im oberen Haslital Strukturklüftung oder Verwitterungsklüftung ist. C. SCHMIDT²⁾ und BRÜCKNER³⁾ halten dort die Klüfte für Verwitterungsfugen, während ich sie für Strukturfugen halte⁴⁾. Daraus ergibt sich aber eine ganz verschiedene Bewertung der Gletschererosion.

E. v. DRYGALSKI⁵⁾ hat einmal die Meinung ausgesprochen und auf Grund seiner Beobachtungen in Grönland verteidigt, daß die von ihm beschriebenen glazialen Formen durch präglaziale Verwitterung vorgebildet seien. Der Gletscher räume nur das bereits durch die Verwitterung abgelöste Gesteinsmaterial aus. Eine Unterscheidung der Art der ablösenden Fugen hat er dabei nicht erstrebt.

Von den beiden anderen Gruppen der gemeinen Klüfte hat die Kartierung der Strukturfugen bei den Erstarrungsgesteinen eine große theoretische Bedeutung, weil in diesen ja, wie längst bekannt, eine direkte Beziehung zwischen der Anordnung der Fugen und den bei der Abkühlung des Gesteinskörpers entstehenden isothermalen Flächen existiert, hier also die Fugen bis zu einem gewissen Maße Auskunft über die Form des Gesteinskörpers geben. Aber so gut und lange diese Tatsache bekannt ist, so scharfsinnige Untersuchungen über sie veröffentlicht sind⁶⁾, so wenig hat man sie bisher, meines Wissens, bei Kartierungen berücksichtigt. Ja, ich selbst muß mit Bedauern gestehen, daß ich bei der Kartierung der Adamellogruppe erst zu spät von der Erkenntnis ihrer Bedeutung durchdrungen wurde und daher nicht mehr genügend Be-

¹⁾ Wo die Zerklüftung des Gesteins bei der Verwitterung so weit geht, daß dies ganz unregelmäßig von Spalten durchsetzt wird, hat natürlich die Messung der einzelnen Spalten keinen Sinn.

²⁾ Vgl. SCHMIDT, in SALOMON: Adamellogruppe, Abh. Wiener Geol. Reichsanst. Bd. XXI, S. 520, Fußn. 1.

³⁾ BRÜCKNER: Naturw. Wochenschrift. 1909, S. 792.

⁴⁾ SALOMON: Adamellogruppe, S. 451 u. 520.

⁵⁾ DRYGALSKI: Grönlandexpedition d. Ges. für Erdkunde zu Berlin, 1891—1893. Berlin, 1897, bei H. KÜHL, S. 62 u. a. and. Orten.

⁶⁾ IDDIGS: The columnar structure in the igneous rock on Orange Mountain. Amer. Journ. of Science, 3. Serie, Bd. 31, 1886, S. 321—331.

obachtungen sammeln konnte, um sie kartographisch einzutragen. Im Text sind sie indessen eingehend besprochen, um ihre Wichtigkeit hervorzuheben.

Nur da hat man die Kontraktionsfugen meines Wissens in größerem Maße beachtet, gemessen und zum Teil auch, wenn gleich sehr unvollkommen kartographisch verwertet, wo man sie mit Schichtfugen verwechselte und durch ihre Messung eine angebliche Sedimenttektonik festzustellen glaubte. Das ist z. B. in manchen alpinen Zentralmassiven (St. Gotthard, Finsteraarhornmassiv usw.) geschehen, wie ich erst vor kurzem ausgeführt habe¹⁾.

Mehr Beachtung und eingehendere Schilderungen hat der Verlauf und die Orientierung der jetzt wohl ziemlich allgemein als Druckfugen (= tektonische Fugen) angesehenen Spalten in den Sandstein-, Kalkstein- und Dolomitgebirgen gefunden. In den letzteren beiden spielen sie offenbar eine bedeutende Rolle bei der Bildung der unterirdischen Wasserwege. In allen dreien sind sie es in erster Linie, die die sonderbaren kühnen Felsarchitekturen bedingen, denen Gebiete wie die Sächsische Schweiz, der Fränkische Jura, der südliche Pfälzerwald und die südalpinen Dolomiten ihre Berühmtheit verdanken. — So hat z. B. in neuerer Zeit HETTNER²⁾ die quaderförmige Absonderung der Kreidesandsteine der Sächsischen Schweiz genau untersucht und ihren tektonischen Ursprung bewiesen³⁾. Er hat die vorherrschenden Kluftrichtungen auf einem Übersichtskärtchen eingetragen und ihren Einfluß auf die Talrichtungen, wenigstens für die kleineren Schluchten klar zum Ausdruck gebracht. (A. ang. O. S. 308—310.) Für die größeren Täler kommt er allerdings zu einem abweichenden Resultat.

HETTNER'S Untersuchungen sind von der sächsischen geologischen Landesaufnahme, insbesondere von BECK noch fortgesetzt und vervollständigt worden. In den betreffenden Erläuterungen sind zahlreiche genaue Messungen mitgeteilt. Eine kartographische Darstellung ist aber nicht durchgeführt worden⁴⁾.

¹⁾ Ist die Parallelstruktur des Gotthardgranites protoklastisch? Verhandl. d. Naturh. Mediz. Vereines, Heidelberg, 1911, N. F. Bd. XI. S. 225.

²⁾ Der Gebirgsbau der Sächsischen Schweiz. Stuttgart 1887. Heft 4 des zweiten Bandes der „Forschungen zur Deutschen Landes- und Volkskunde“. S. 43 u. f. des Sonderabdruckes.

³⁾ Beobachtet und gemessen war diese Absonderung schon von GUTBIER; doch führte dieser ausgezeichnete Forscher sie noch auf „Zusammenziehung während des Festwerdens zurück“. Geogn. Skizzen, Leipzig, 1858. S. 27 u. f.

⁴⁾ Man vgl. bes. Erläuter. z. geol. Spezialkarte v. Sachsen. Sektion Königstein-Hohnstein von R. BECK. Leipzig 1893. S. 16 u. f.;

Sehr wertvolle und interessante Untersuchungen über die Gesteinsklüfte hat LEPPLA über den Pfälzer Wald in seiner Arbeit: „Über den Bau der pfälzischen Nordvogesen und des triadischen Westriches“ veröffentlicht¹⁾. Hier sind zahlreiche Klüfte gemessen und wenigstens ihrem Streichen nach in einer Übersichtskarte in 1:250000 eingetragen, so daß ihre tektonische Natur trotz der bei dem kleinen Maßstabe notwendigen Schematisierung klar hervortritt. Ihr Einfluß auf die Richtungen vieler Talstücke ist hervorgehoben; ja, es ist bereits erkannt, daß die Formen der für die Trifels-Stufe des Buntsandsteins so charakteristischen Felsmauern vielfach von dem Verlauf der Klufsysteme abhängen.

Eine systematische Kartierung der Klüfte in größerem Maßstabe hat aber auch LEPPLA noch nicht durchgeführt; und er hat auch noch nicht versucht, außer dem Streichen auch das Fallen der Klüfte zur Darstellung zu bringen²⁾.

Finden wir also die Messung und Kartierung der Verwitterungs-, Druck- und Strukturfugen noch wenig in den Dienst der aufgezählten Aufgaben gestellt, so sind sie doch allesamt, freilich ohne Unterscheidung ihrer Entstehungsart, bei der theoretischen Erörterung einer anderen im vorstehenden bereits gestreiften Frage berücksichtigt worden. Es ist das die sehr wichtige und bedeutsame Frage, ob die Gesteinsfugen einen erheblichen Einfluß auf die Talrichtungen ausüben. — Diese Frage ist von bedeutenden Forschern ebenso entschieden bejaht, wie von anderen nicht weniger bedeutenden und kenntnisreichen Forschern verneint worden.

Wir verdanken DAUBRÉES klassischen „Synthetischen Studien zur Experimentalgeologie“³⁾ und HOBBS sehr interessanter Abhandlung: „Repeating Patterns in the relief and in the structure of the land“⁴⁾ einige Angaben über die historische Entwicklung dieser Frage. Man vergleiche aber vor allen Dingen die sehr lesenswerte Darstellung der historischen Entwicklung unserer Anschauungen über Talbildung in PENCK'S Morphologie der Erdoberfläche. (Stuttgart 1885 bei Engelhorn, S. 134 u. f.).

Sektion Hinterhermsdorf - Daubitz von O. HERRMANN u. R. BECK; S. 24—25 und den BECK'Schen Führer durch das Dresdener Elbtalgebiet, Berlin 1897. S. 139—140 u. 153.

¹⁾ Jahrb. d. Königl. preuß. geol. Landesanst. für 1892, Berlin 1893, S. 23—90.

²⁾ Vielleicht wirkte dabei auch die auf S. 68 ausgesprochene Anschauung mit, daß die Klüfte im allgemeinen senkrecht zu den Schichtflächen stünden. Auf diesen Punkt komme ich später noch zurück.

³⁾ Braunschweig. Autorisierte deutsche Ausgabe. 1880. S. 271 u. f.

⁴⁾ Bulletin Geol. Society of America. Bd. XXII. 1911. S. 123—176.

Schon in sehr alter Zeit war die Meinung vertreten, daß viele oder die meisten Täler „Spaltentäler“ seien. Darunter verstand man aber, daß die Hohlform ganz oder zum größten Teil der ursprünglichen Spalte entspreche. Gegen diese, wie wir jetzt wissen, nur ganz ausnahmsweise und vorübergehend zutreffende Annahme, wandte sich eine zweite und schließlich mit den Arbeiten von GREENWOOD, J. D. DANA, RÜTMEYER, HEIM und anderen siegreich geliebene Partei. Der Hohlraum, der früher als Spalte galt, wurde nun als Produkt der Erosion des Wassers bzw. des Eises angesehen. Und da diese Auffassung in der Tat im wesentlichen zutrifft, vernachlässigte man meist die Möglichkeit, daß selbst unbedeutende Gesteinspalten doch wenigstens richtungsbestimmend für die Talbildung werden konnten. Immerhin hatte auch diese letztere Auffassung fast stets einzelne Vertreter; und zwischen den beiden extremen Hypothesen vermittelten zahlreiche andere einen Übergang¹⁾.

Wie scharfe Gegensätze aber selbst heute noch in demselben Lande vorkommen, dafür liefert Skandinavien ein typisches Beispiel. Wir wissen, daß KJERULF die norwegischen Täler von dem Verlaufe der Gesteinspalten im weitesten Sinne, also auch der Verwerfungen abhängig glaubte²⁾. BRÖGGER vertrat diese Anschauung noch 1910 auf dem Internationalen Kongresse in Stockholm, während HELLAND und REUSCH auf dem entgegengesetzten Standpunkte stehen bzw. standen.

In neuerer Zeit ist aber die Bedeutung der Klüfte für die Talbildung wohl nur ziemlich vereinzelt hervorgehoben und jedenfalls sehr wenig anerkannt worden.

DAUBRÉE zeigte an einer Anzahl von Karten französischer Gebiete einen innigen Zusammenhang zwischen dem Auftreten und der Richtung der Klüfte und den Richtungen der Täler. Er sagt (S. 283): „Durch ihre große Zahl haben die Klüfte oder Diaklasen zu den Erosionen mächtig beigetragen und darin mit den Verwerfungen oder Paraklasen gewetteifert, die sie in der Bedeutung für die Formgebung sogar oft übertreffen“.

Daß HERTNER einen deutlichen Einfluß der Kluftsysteme auf die Richtungen der kleineren Schluchten in der Sächsischen Schweiz erkannte, dagegen keinen Zusammenhang zwischen

¹⁾ Von der Anschauung, daß die kontinentalen Täler von den Strömungen und Fluten regredierender Meere erzeugt seien, darf ich wohl jetzt ganz absehen.

²⁾ Vgl. besonders „Udsigt over det sydlige Norges geologi“ und „Die Geologie des südlichen und mittleren Norwegen“ (Deutsche Ausgabe von GURLT. Bonn, 1880.

ihnen und den großen Tälern beobachtete, ist bereits auf S. 498 erwähnt. Ebendort sind LEPPLAS entsprechende Untersuchungen über den Pfälzerwald hervorgehoben worden.¹⁾

DE GEER, HÖGBOM und andere schwedische Forscher fassen eine große Zahl von Relieflinien Skandinaviens und Spitzbergens als tektonisch bedingt auf; ja, sie halten einen erheblichen Teil der Fjorde, Täler und Seen für tektonische Bildungen.

ÉLIE DE BEAUMONT und in neuerer Zeit DEECKE haben sogar noch weit großartigere Relieflinien der Erdoberfläche als einheitliche geometrische Figuren gedeutet. Sie kommen bei deren Erklärung zu der Annahme regelmäßiger Zerspaltungen der Erdkruste im größten Maßstabe.

Vor allen lebenden Forschern hat aber wohl HOBBS dem Einfluß der Kluftsysteme auf die Reliefformen überhaupt, und insbesondere auf die Talrichtungen am meisten Aufmerksamkeit geschenkt und in einer Reihe von eigenen Untersuchungen sowie durch die Arbeit eines Schülers (HARDER) wesentliche Beiträge zur Aufhellung der Frage geliefert²⁾. Er hat schon 1901 für Landschaften mit einer von Klüften bedingten rechteckigen „Musterung“ den Ausdruck „Schachbrett-Topographie“ geprägt. Er hat selbst und durch HARDER die ersten mir bekannten wirklich systematischen Kluft-Kartierungen durchgeführt, die den Zweck hatten, den Einfluß der Klüfte auf das hydrographische Netz nachzuweisen³⁾

Seine neueste, schon auf S. 499 zitierte Arbeit „Repeating patterns in the relief and in the structure of the land“ ist, wie er selbst sagt, nur ein vorläufiger Auszug aus einer größeren

¹⁾ Noch während des Druckes macht mich Herr Prof. ZIMMERMANN-Berlin freundlicher Weise auf eine Notiz von HALFAR in dieser Zeitschrift (Bd. 35, 1883, S. 630) aufmerksam, in der der Zusammenhang zwischen Klüften und Talbildung bei Eisenach erläutert ist.

²⁾ HOBBS: Examples of joint controlled drainage from Wisconsin and New York. Journ. of Geology. 1905. Bd. XIII. S. 363 u. f.

HARDER: The joint system in the rocks of southwestern Wisconsin and its relation to the drainage net work. Bull. Univ. Wisconsin Scient. Series, Bd. III. 1906. S. 207 u. f.

³⁾ Mein Plan, derartige Kartierungen durchführen zu lassen, war unabhängig von HOBBS entstanden. Als ich 1906 die Freude und Ehre hatte, meinen ausgezeichneten amerikanischen Kollegen als Gast bei Gelegenheit einer meiner Unterrichts-Exkursionen in die Umgebung von Heidelberg führen zu dürfen, teilte ich ihm diesen Plan mit. Ich war sehr überrascht und erfreut, von ihm zu hören, daß er sich mit ganz ähnlichen Plänen und Arbeiten schon seit längerer Zeit beschäftigte und dieser Art von Kartierung dieselbe Bedeutung beimaß wie ich. Seine bereits 1901 erschienene Arbeit über „the Newark System“ war mir damals noch unbekannt gewesen.

Arbeit, mit der er schon seit einer Reihe von Jahren beschäftigt ist. Immerhin findet der Leser darin bereits jetzt eine erhebliche Anzahl von klaren und drastischen Beispielen aus allen möglichen Ländern für den Einfluß der Kluftsysteme auf die Talrichtungen und das Relief der Landoberfläche überhaupt. HOBBS schließt aus seinen Untersuchungen: „that there exists a primary fracture pattern produced from two bisecting rectangular sets of fractures, each made up of two series of parallel fracture planes subequally spaced and vertical. Within this primary pattern are comprised both the joint and fault systems as similar parts, the individual faults differing from the joints in scale only, the displacement being measurable only on the fault, and the fault pattern being in like manner distinguished from the elementary joint pattern by its generally larger scale of order.“

Ferner kommt HOBBS zu dem Ergebnis: „The localization of the zones of excavation by the denuding agents which attack the surface is fixed by fracture structures already existing at the time.“

Wir sehen also, daß auch in neuerer Zeit einige Forscher den Klüften eine erhebliche Rolle für die Talbildung und zum Teil sogar einen riesigen Einfluß auf die Gestaltung der ganzen Erdoberfläche zuschreiben. Die große Mehrzahl unserer Fachgenossen aber wie der Geographen verhält sich ablehnend und glaubt, in den angeführten Übereinstimmungen nur unbedeutende und seltene Erscheinungen, bzw. Zufälligkeiten oder gar Selbsttäuschungen erblicken zu sollen.

Eine Einigung zwischen den beiden extremen Standpunkten dürfte nun nicht durch enthusiastische, radikale Darstellungen der beiderseitigen Anschauungen und Grundsätze zu erzielen sein, auch wenn vereinzelt Beispiele aus der Natur als Stütze angeführt werden. Damit könnten wir noch lange in dem Stadium der subjektiven Bewertung von Einzeleindrücken bleiben. Das einzige Mittel daraus herauszukommen, scheint mir Arbeit in der Natur, und zwar die genaue Kartierung der sämtlichen Arten von Spalten und Verwerfungen und die Feststellung ihrer Beziehungen zu den benachbarten Tälern zu sein, ein Weg, den HOBBS zuerst mit Erfolg beschritten hat.

Ich habe daher, da ich selbst nicht die Zeit zu solchen Kartierungen hatte, sobald sich mir die Gelegenheit bot, Schüler von mir veranlaßt entsprechende Untersuchungen, allerdings auch noch mit den im zweiten Teile dieses Aufsatzes erläuterten, weiteren Zielen auszuführen. Es liegt zurzeit bereits eine solche Arbeit gedruckt vor: J. G. LIND, Geologische Unter-

suchungen der Beziehungen zwischen den Gesteinsspalten, der Tektonik und dem hydrographischen Netz des Gebirges bei Heidelberg. (Verhandl. d. Naturhistor. Medizin. Vereines zu Heidelberg. Neue Folge Bd. XI. Heft 1. Heidelberg, 1910). Eine zweite entsprechende Arbeit über den Pfälzer Wald von J. DINU ist zurzeit im Druck. (Dieselbe Zeitschrift Bd. XI. Heft 3). Sechs weitere Arbeiten sind teils bereits im Gange, teils werden sie in kurzer Zeit aufgenommen werden.

Noch vor LINDS Veröffentlichung erschien die Arbeit von FR. HAUCK: Morphologie des krystallinen Odenwaldes (Verhandl. d. Naturhistor. Medizin. Vereins Heidelberg, N. F. Bd. X. Heidelberg, 1909, S. 233—333). In dieser auf Veranlassung von HETTNER unternommenen Untersuchung, deren Ausführungszeit z. T. mit der der LINDSchen Arbeit übereinstimmte, ist bereits vor LIND, wenn auch mit einem ganz wesentlich geringeren Beobachtungsmaterial, eine Beeinflussung der Talrichtungen durch die Klüfte festgestellt worden. (S. 267 u. f.). Ein Kärtchen eines kleinen Gebietes, östlich von Heppenheim, erläutert die Darstellung und zeigt die Streichrichtung der Klüfte. Der Verfasser sagt wörtlich: „Die Richtung der Täler, namentlich der kleinen, stimmt nämlich nicht selten so genau mit dem Verlauf von Klüften überein, die man an den Talrändern oder in benachbarten Steinbrüchen messen kann, daß an einem richtungsbestimmenden Einfluß der Klüfte bei der Anlage eines Tales nicht zu zweifeln ist.“

Die LINDSche Arbeit hat dieses Resultat, wie am Schlusse des zweiten Abschnittes angeführt werden wird, bestätigt und erweitert.

Allerdings muß man bei derartigen Untersuchungen gewisse Fehlerquellen berücksichtigen. Man darf nicht, was beim Arbeiten auf Karten allein vorkommen könnte, die Richtungen der Flußmäander in den Aufschüttungsaunen vergleichen, sondern die Talwände. Man muß reine Verwitterungsspalten, die naturgemäß gern den Gesteinsoberflächen parallel laufen, ebenso ausschalten, wie Klüfte, die an steilen Talgehängen, diesen parallel durch Absitzen oder Rutschungen entstehen. Sind die Beobachtungen in Steinbrüchen oder Bergwerken gemacht, so sind die Sprengwirkungen zu berücksichtigen.

Man wird ferner den Wert der einzelnen Spalten festzustellen haben. Es ist nicht gleichgültig, ob zahlreiche Spalten zu einem ganzen System angeordnet, immer wieder in gleicher Orientierung das Gestein durchziehen, oder ob die Spalten nur vereinzelt auftreten, ob sie horizontal weit oder wenig ausgehnt sind, vertikal nur eine oder viele Schichten durchsetzen.

In Sandsteinen, die mit Tonen wechsellagern, beobachtet man die Spalten oft nur in den ersteren. Man hat dann festzustellen, ob sie oben und unten dieselbe Orientierung zeigen.

Ferner ist es notwendig zu prüfen, inwieweit die Spalten saiger stehen oder geneigt sind, wobei zu beachten ist, daß, wie schon DAUBRÉE hervorhob und abbildete, gelegentlich einund-dieselbe Spalte unten geneigt sein, und sich oben als vertikale Fuge fortsetzen kann.

Gerade die geneigten Spalten und Verwerfungen aber gestatten in der Nähe von Senkungsgebieten gewisse Rückschlüsse auf den Mechanismus der Bewegungen, wie im Anschluß an die Besprechung der Harnische gezeigt werden soll. Es reicht dabei aber nicht die summarische Konstatierung ihres Vorhandenseins aus, sondern es ist eine sorgfältige Messung, Zählung, Eintragung und passende Darstellung ihres Streichens und Fallens auf der Karte nötig, wenn man brauchbare Ergebnisse erzielen will.

Wichtig ist es auch, in Gebieten mit deutlicher Neigung der Schichten auf die Beziehungen zwischen diesen Neigungsrichtungen und den Richtungen der Klüfte zu achten, DAUBRÉE z. B. (a. a. O. S. 251) schreibt: „Gewöhnlich bilden die Klüfte zwei Systeme, von denen eins der Streichungslinie, das andere der Falllinie entspricht.“

LEPPIA (S. 68) ist zu dem Ergebnis gekommen, daß die Klüfte in horizontalen wie in geneigten Schichten im allgemeinen senkrecht zu den Schichtflächen ständen. Aus den von ihm angeführten Beispielen geht hervor, daß auch er dieselbe Anordnung der Klüfte wie DAUBRÉE beobachtete.

Ein besonders wichtiger Punkt ist der, daß bei allen vergleichenden Untersuchungen von Formen und Maßen des Erdreliefs Selbsttäuschungen möglich sind. Man glaubt das, was man erwartet, auch wirklich zu sehen, und hat bei der unendlichen Mannigfaltigkeit der Oberflächenformen genug Gelegenheit, da subjektiv gesetzmäßige Übereinstimmungen zu finden, wo ein der Frage skeptischer gegenüberstehender Forscher nur zufällige Ähnlichkeiten oder Annäherungen sieht.

Wie kann man in unserem Falle diese Fehlerquelle, vielleicht von allen die wichtigste, ausschließen? Ich verdanke da Herrn W. M. DAVIS von der Harvard-Universität einen wertvollen Rat, den wir bei der DIXUSCHEN Arbeit benutzt haben. Herr DIXUS stellte auf meine Veranlassung von einem Teil seiner Karte eine Pause der eingetragenen Klüfte her. Zwei ganz unbeteiligte, aber mit der aufgenommenen Gegend gut vertraute Herren, die beiden Volontärassistenten an dem

von mir geleiteten Institute, C. BOTZONG und D. HÄBERLE, zählten unabhängig voneinander und jeder nach einer abweichenden Methode die Zahl der Übereinstimmungen von Klüften mit Talstücken auf der Karte, und dann, nach Drehungen der Pause um verschiedene Winkel, zwischen den gedrehten Klüften der Pause und den stehengebliebenen Flußläufen der Karte. Waren die Übereinstimmungen auf der Karte vom Zufall abhängig, oder beruhten sie auf subjektiven Eindrücken, so mußte sich ihre Zahl nach den Drehungen ziemlich gleichbleiben. In Wirklichkeit aber nahm sie mit wachsendem Drehungswinkel stark ab.

Über die Einzelheiten der angewandten Verfahren, die meiner Ansicht nach eine Selbsttäuschung sicher ausschließen, wolle man in der DINUSCHEN Arbeit nachlesen.

Die Hauptergebnisse der LINDSCHEN wie der DINUSCHEN Untersuchungen sind am Ende des zweiten Abschnittes angeführt.

2. Die Harnische.

Im praktischen Bergbau haben die Harnische seit einiger Zeit durch HÖFERS¹⁾ Verdienst Beachtung gefunden, weil es durch Berücksichtigung der Orientierung ihrer Flächen und Rutschstreifen gelingt, Fingerzeige über die Fortsetzung unterbrochener Flöze und Gänge zu erhalten²⁾. Indessen liegt es in der Natur des Bergbaues, daß man sich auf die Untersuchung der unterirdisch beim Betrieb zur Kenntnis kommenden Harnische beschränkt.

In der Geologie hat man gleichfalls die theoretische Bedeutung dieser Gebilde erkannt und sie in vereinzelt Fällen zur Erschließung tektonischer Vorgänge benutzt. Das hat z. B. EDUARD SUESS, (Antlitz der Erde, Bd. I. S. 159—160) getan. Am ausgedehntesten hat es aber wohl ALBERT HEIM in seinem

¹⁾ Vergl. H. HÖFER: Die Ausrichtung der Verwerfungen. Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen. 1881, S. 167—171. — Über Verwerfungen. Ebenda 1886, S. 349—354, bes. S. 351. In dieser letzteren Arbeit sind meines Wissens auch zum ersten Male die Merkmale angegeben, mit deren Hilfe es gelingt, nicht bloß die Richtung, sondern auch den relativen Sinn der Verschiebung festzustellen. Vergl. S. 351. (Schon in der erstzitierten Arbeit ist auf S. 169 das Verfahren angedeutet). Die genaue Angabe der Methode rührt nicht von HÖFER selbst, sondern von einem nicht genannten Rezensenten seiner ersten Arbeit her.

²⁾ Früher verließ man sich im Bergbau gern, wenn auch sehr mit Unrecht auf die SCHMIDT-ZIMMERMANNSCHE Regel. Diese kann lokal von Bedeutung sein. Im allgemeinen trifft sie aber nicht zu. Schon DAUBRÉE hat darauf hingewiesen, daß sie sehr viel Ausnahmen hat; aber eine vernichtende Kritik hat wohl erst HÖFER geliefert.

„Säntisgebirge“ (Beitr. geol. Karte d. Schweiz. N. F. Lief. 16. Bern, 1905, S. 239 u. f.) durchgeführt. Er und seine Mitarbeiter (ARNOLD HEIM, JEROSCH, BLUMER) haben Hunderte von Harnischen beobachtet und gemessen. Sie haben eine Fülle von wichtigen Beobachtungen nicht bloß lokaler, sondern auch allgemeiner Natur veröffentlicht und durch die Messung erhebliche Ergebnisse über den Bewegungsmechanismus bei der Gebirgsbildung erzielt. Eine Eintragung in das Kartenbild hat indessen offenbar nur insoweit stattgefunden, als die Dislokationen an den Harnischen nachweisbar größere Beträge erreichten. Auf die Darstellung der anderen ist verzichtet, und das offenbar schon deshalb, weil der Maßstab (1:25 000) bei der Komplikation des Farbenbildes dazu noch nicht ausreichte. Der relative Sinn der Verschiebungen ist zwar im Text dargestellt und bei dem eigenartigen Gebirgsbau aus der Verteilung der Farben gut erkennbar, in dem Bruchsymbol selbst aber nicht zum Ausdruck gebracht.

So ist mir also bisher kein Beispiel bekannt, wo man Harnische nach möglichst vollständiger Aufsuchung und Messung systematisch im Kartenbilde dargestellt hätte. In den Faltengebirgen liefert eben schon die gewöhnliche geologische Kartierung oft ausreichende Anhaltspunkte zur Feststellung des Gebirgsbaues und des Mechanismus der Bewegung. Das gilt besonders, wenn die Faltung steil ist und die Schichten nicht sehr mächtig sind. Doch zeigen auch für solche Gebirge die HEIMSchen Säntisuntersuchungen, wie großen Nutzen in ihnen die Beachtung der Harnische liefern kann. Je flacher die Schichten aber liegen, und je mächtiger sie werden, um so schwieriger wird es, bei der Kartierung horizontale Verschiebungen zu erkennen. Noch viel größer aber wird diese Schwierigkeit, wenn es sich nicht um gewöhnliche Sedimentgesteine, sondern um krystalline Schiefer handelt. Hier versagt oft die Kartierung ganz, weil man nicht weiß, ob die Wiederkehr eines charakteristischen Gesteines auf Repetition durch isoklinale Faltung bezw. Überschiebung oder auf dem wiederholten Auftreten einer Schicht im ursprünglichen Schichtprofil beruht. Ebenso ist es meist nur sehr schwer zu entscheiden, ob das horizontale Verschwinden eines Leitgesteines auf Auskeilen beruht, oder ob eine Blattverschiebung die Fortsetzung abgeschnitten hat. Hier kann die Harnischuntersuchung unschätzbare Dienste leisten.

In den Tafel- und Schollengebirgen schien der Mechanismus der Gebirgsbildung von einer solchen Einfachheit zu sein, daß man auf die immerhin zeitraubende und anscheinend über-

flüssige Messung der Harnische fast stets verzichtete. Wir finden daher meines Wissens auch in den Erläuterungen zu den geologischen Spezialkarten nur seltene und unsystematische Angaben über das Auftreten und die Orientierung der Harnische, obwohl es gerade für den kartierenden Geologen mit einem relativ geringen Zeitaufwand möglich wäre, sie in großer Zahl aufzunehmen. Diese Vernachlässigung der Harnische hängt mit den theoretischen Anschauungen über den Gebirgsbau eng zusammen. Man war und ist meist noch heute gewöhnt, nur in den Faltengebirgen starken tangentialen Druck als wirk-samen Faktor anzusehen. Und wenn auch randliche Überschiebungen manchmal die Tafelländer deutlich mitbetroffen haben¹⁾, so schienen das doch seltene Ausnahmen zu sein. Man setzte daher meistens im Tafel- und Schollengebirge nur vertikale oder doch steile Bewegungen voraus. Als ihre Ursache aber sah man Schwerewirkungen an; und dieser Anschauungskomplex fand seinen großartigsten, von einem Riesenmaterial von Beobachtungen gestützten Ausdruck in EDUARD SUESS' Antlitz der Erde.

Auf der einen Seite sah man Faltengebirge mit kolossalen tangentialen Bewegungen, Falten oder Überschiebungen, neuerdings sogar Decken, auf der anderen Seite starre Massen als Backen der Schraubstöcke, zwischen denen die Erdkruste gefaltet wird! In diesen Massen liegen die Horste, die nach der SUESSschen Anschauung die in früheren Zeiten erhaltenen Abstände vom Erdmittelpunkt (vulgo „Höhen“) nicht mehr vergrößern können, zwischen denen aber Gräben und Bruchfelder an steilstehenden Verwerfungen absinken. Auf starke horizontale Bewegungen an steilstehenden Flächen rechnete man gar nicht. Und das war bequem; denn wenn man in der Feststellung der Höhenlagen der Schichten ein Mittel hatte, um Vertikalverwerfungen nachzuweisen, so fehlte ein solches ganz und gar, um im Tafelgebirge Horizontalverschiebungen an vertikaler Fläche zu erkennen. Nur das Studium der Harnische kann da Abhilfe schaffen. Daß bei der geschilderten großartigen und einheitlichen Auffassung nicht viel von dem Studium der Harnische in den Tafel- und Schollengebirgen erwartet wurde, das bedarf wohl keiner Erläuterung. Und wenn auch in neuerer Zeit die SUESS'sche Anschauung in einzelnen untergeordneten Punkten von verschiedenen Forschern verlassen worden ist, wenn man z. B. jetzt vielfach eine Hebung der

¹⁾ z. B. Hohnsteiner Überschiebung am Rande des Elbsandsteingebirges.

Horste annimmt¹⁾, so änderte das doch nichts an der fast allgemeinen Vernachlässigung der Harnische.

So erklärt es sich auch, daß DAUBRÉE (S. 261) zwar beobachtete und anführte, daß in den Vogesen einzelne Harnische fast horizontal verlaufende Streifen haben, daß LEPPLA für den Pfälzer Wald sogar hervorhebt, daß die Harnischstreifen fast stets nur wenig von der Wagerechten abweichen²⁾, daß aber weder diese Forscher selbst noch irgendein anderer daran ging aus ihren wichtigen Beobachtungen die meiner Ansicht nach notwendigen Konsequenzen zu ziehen.

In dem geschilderten Ideenkreis lebend, ging ich im Jahr 1900 im Auftrage der badischen geologischen Landesanstalt an die Untersuchung des kleinen Muschelkalkgrabens bei Eberbach im Buntsandstein-Odenwald. Schon bei einer der ersten Begehungen betrat ich den am Ohrsberge, ganz in der Nähe des Bahnhofes, gelegenen Steinbruch im unteren Buntsandstein und sah hier, in geringem Abstände vom Rande eines tiefen Grabens zu meiner großen Überraschung einen Harnisch, dessen Streifen nur ganz wenig von der Horizontalen abweichen³⁾.

Diese mir zuerst ganz unverständliche Tatsache⁴⁾ war für mich einer der Ausgangspunkte für meine späteren Betrachtungen über den Bewegungsmechanismus der Tafelgebirge. Die nähere

¹⁾ Vgl. aber KRANZ' Ausführungen: „Über Zusammenschub und Senkungen in Horstgebirgen. Zentralblatt. Neues Jahrb. f. Miner. 1911, Nr. 8, 11 u. 12.

²⁾ LEPPLA: (Nordvogesen. S. 66) schreibt sehr richtig: „Die auf großen (d. h. viele Quadratmeter fassenden) Flächen sich durchaus gleichbleibende Schrämmung läßt mich schließen, daß sie das Ergebnis der in der Richtung der Linien erfolgten Bewegung des Gleitens, Rutschens darstellt. . . In keiner einzigen der von mir beobachteten anstehenden Rutschflächen war eine lotrechte Richtung der Rutschlinien zu merken.“ Er fügt zur Erklärung hinzu: „Das ist vielleicht teilweise auf die Tatsache zurückzuführen, daß die von mir beobachteten Rutschflächen ausnahmslos nicht den eigentlichen Verwerfungsflächen, sondern den Nebenrutschungen angehörten, wie sie sich in der Nähe der Verwerfungen als Begleiterscheinungen häufig zeigen.“

³⁾ Herr Dr. C. BORZONG, der auf meine Bitte im Sommer 1911 diese Stelle besuchte, fand dort einen Harnisch, der offenbar mit dem meinigen identisch ist. Er maß an zwei Stellen N 24 bzw. 22° W-Streichen und 80° bzw. 85° O-Fallen. Die Streifen fallen an der einen Stelle mit 3° nach W, an einer anderen gar nur mit 1°. Ein Vergleich mit dem Kärtchen des Grabens in meiner Arbeit (Mitteil. d. bad. geol. Landesanst. 1901. Bd. IV. Heft 2, S. 249) lehrt, daß der Harnisch dort mit der vermutlichen Grenze des Grabens einen Winkel von etwa 80° bildet, also beinahe transversal steht.

⁴⁾ die oben zitierten Beobachtungen von DAUBRÉE und LEPPLA über Harnische mit sehr flachen Streifen in Oberrheinischen Randgebirgen lernte ich erst viel später kennen.

Untersuchung des Eberbacher Grabens führte mich dann zuerst für diesen, später auch für den Rheintalgraben zu der an frühere Arbeiten ANDREAEs anknüpfenden Hypothese, daß die beiden Gräben nicht durch vertikale Einbrüche, sondern durch Überschiebung von beiden Seiten her zu erklären seien. Ich suchte ebenso wie ANDREAE in der Natur und in der Literatur nach Beweisen für die mit unseren Anschauungen verbundene Annahme einer nach unten divergenten Stellung der Grabenrandspalten¹⁾. Aber wenn es uns auch gelungen ist, gewisse Beobachtungen zu machen oder geschildert zu finden, die für unsere Annahme sprechen dürften, so überzeugte ich mich doch sehr bald davon, daß es bei der schlechten Beschaffenheit und Seltenheit der Aufschlüsse in den in Betracht kommenden Gebieten in absehbarer Zeit nicht möglich sein wird, eine genügende Anzahl von direkten Beweisen, sei es für, sei es gegen unserer Anschauung, zu finden²⁾. So kam ich auf die Idee zurück, die mich 1901 bei der Beobachtung des Harnisches am Ohrsberge durchzuckt hatte, ob es nämlich nicht möglich wäre, durch sorgfältige Untersuchung, Messung und Kartierung einer großen Anzahl von Harnischen Aufschluß über die Natur der Bewegungen in den Tafelgebirgen zu erhalten³⁾. Denn darüber kann meiner Ansicht nach kein Zweifel bestehen, daß die Harnischstreifen wirklich den Bewegungsrichtungen der benachbarten Massenpunkte entsprechen, und daß es nicht mehr zugänglich ist, ihre Orientierung als nebensächlich oder gar gleichgültig zu betrachten. Es wird zwar nicht ausbleiben, daß die unbequemen Ergebnisse ihrer Untersuchung auch dieser Anschauung in der Diskussion Vertreter zuführen werden. Demgegenüber zitiere ich aber jetzt bereits die Meinung der

¹⁾ Vgl. die Abbildungen in: *Mittel. Bad. geol. Landesanst. 1901. Bd. IV. S. 248* und diese *Zeitschr. 1903. Bd. 55. S. 410*.

²⁾ Vgl. darüber aber auch *Blösch: Neues Jahrb. f. Min. Beil. Bd. XXIX. Stuttgart 1910. S. 660—663*.

³⁾ *HÖFER* hat schon 1881 in seiner erst zitierten Arbeit (S. 168) wörtlich gesagt: „Wir würden in das ganze Wesen der Verwerfungserscheinungen bald einen klaren Einblick gewinnen, wenn man die räumliche Lage der Rutschstreifen sorgsam beobachten und kartieren würde; abgesehen von dem praktischen Nutzen würde hierdurch ein sehr beachtenswertes Material zur Lösung der Frage über den Mechanismus der Gebirgsbildung geliefert“. — Diese wichtige Äußerung scheint in der wissenschaftlichen Geologie unbekannt geblieben zu sein. Auch ich habe sie erst vor kurzem kennen gelernt, lange nachdem ich mit der Kartierung der oberrheinischen Harnische durch meine Schüler begonnen hatte und erst nach dem Erscheinen der *LINSCHEN* Arbeit.

beiden Forscher, die sich meines Wissens bisher am eingehendsten mit diesem Gegenstande beschäftigt haben¹⁾.

HÖFER (a. a. O. S. 167—168): „Diese Rutschstreifen werden gewiß von jedermann als die verkörperte Bewegungsrichtung angesehen werden“.

HEIM (a. a. O. S. 244): „Für die Bestimmung der Bewegungsrichtung hingegen sind die Rutschstreifen und Hohlkehlen an den Wänden des Anstehenden und der Klemmstücke von größter Bedeutung. Ihre Lage ist direkt von der Richtung der Bewegung abhängig und einzig von ihr²⁾. Wie sollte es sonst zu erklären sein, daß im ganzen Gebiet, durch alle sechs Ketten, ganz unbekümmert um das Fallen der jeweiligen Gesteinsschichten oder gar um die Oberflächengestaltung alle die Hunderte von beobachteten Rutschstreifen stets horizontal laufen oder ein schwaches Gefälle gegen N haben! . . . Diese Gesetzmäßigkeit gibt uns das Recht im Einzelfalle wieder von der Neigung der Rutschstreifen auf die der Dislokationsbewegung selbst zu schließen“.

Da ich selbst nicht die Zeit hatte, große Gebiete systematisch zu begehen, alle Harnische aufzusuchen, zu messen und zu kartieren, so ließ ich eine erste derartige Untersuchung zusammen mit der Kartierung der gemeinen Klüfte des Gebietes 1909 durch meinen damaligen Schüler, Herrn J. G. LIND aus Stockholm³⁾, ausführen. LIND beging den Odenwald und Kraichgau von Weinheim im Norden bis Östringen im Süden und von der Rheinebene im Westen bis Waldmichelbach-Steinbach bzw. Neckarburken-Wimpfen im Osten. Er legte die Ergebnisse seiner Untersuchungen in der auf S. 502 zitierten Arbeit nieder. Auch trug er die beobachteten gemeinen Klüfte und Harnische auf einer Karte im Maßstabe von

¹⁾ Natürlich haben sich noch viele andere Forscher in ähnlichem Sinne ausgesprochen, z. B. ROTHPLETZ: Geotektonische Probleme. Stuttgart. 1894 S. 120 u. 159.: „Besonders wenn auch noch Rutschstreifen die Bewegungsrichtung andeuten“. Ebenso in: „Das Gebiet der zwei großen rhätischen Überschiebungen“ usw. (BORNTÄGER, Berlin 1902. S. 19): „Sind dagegen die Schrammen horizontal, so ist jedenfalls eine horizontale Verschiebung auf der Spalte eingetreten“. Man vgl. auch die wichtigen Ausführungen von BRAUNS: „Über die Entstehung der sogenannten Rutschflächen“ usw. Neues Jahrb. f. Miner. 1890. II. S. 190. Dort sind auch einige ältere Literaturangaben zitiert.

²⁾ Diese 4 Worte sind von mir gesperrt, die übrigen von HEIM selbst. W. S.

³⁾ Jetzt in Odgen, Utah.

1:100 000 ein¹⁾. Es ist dabei hervorzuheben, daß ein größerer Maßstab vorteilhafter wäre, und daß es für die Verwertung der Harnische unbequem ist, sie auf derselben Karte zusammen mit den gemeinen Klüften dargestellt zu finden. Wir mußten aber aus finanziellen Gründen vorläufig davon absehen, sie in zwei verschiedene Karten einzuzeichnen und einen größeren Maßstab zu wählen.

Bei der kartographischen Darstellung der Harnische²⁾ kam es darauf an, ein Zeichen zu finden, das gleichzeitig nicht bloß das Streichen und Fallen der Harnischfläche, sondern auch die räumliche Anordnung der Harnischstreifen zum Ausdruck brächte. Die Lage der letzteren aber kann man bei gegebenem Streichen und Fallen der Harnischfläche auf zweierlei Weisen bestimmen: Entweder man mißt mit einem großen Transporteur auf der Harnischfläche selbst den Winkel zwischen den Harnischstreifen und der Streichrichtung, d. h. also einer beliebigen horizontalen Linie auf der Harnischfläche³⁾, oder man mißt durch Anlegen des Klinometers den Winkel zwischen einer beliebigen Harnischstreifenlinie und der Horizontalebene. Die letztere Messungsart gibt ohne Umrechnung direkt die wahre Neigung der Bewegungsrichtung der bei der Verschiebung bewegten Massenpunkte⁴⁾. Ich habe daher diese Messungsmethode vorgezogen und Herrn LIND ebenso wie die sämtlichen übrigen Herren, die sich auf meine Veranlassung mit analogen Arbeiten beschäftigt haben oder noch beschäftigen, dazu bestimmt sie zu benutzen.

¹⁾ Die Originalaufnahmen wurden mit den topographischen Karten in 1:25 000 gemacht.

²⁾ Es ist brieflich von einem Fachgenossen, der sich für diese Art zu arbeiten interessiert, bei mir angefragt worden, warum ich nicht auch die absolute Größe der Harnischfläche bestimmen ließe. Ich verspreche mir aber davon nichts, weil ja in unseren Gebirgen stets nur kleine Stücke der ganzen polierten Verschiebungsfläche abgeschlossen sind, und weil ein Harnisch sehr gut in seiner Fortsetzung in eine gemeine Kluft mit gleich großer Verschiebung übergehen kann.

³⁾ Man könnte natürlich auch den Winkel zwischen den Streifen und der Fallrichtung messen, also das Komplement des ersteren Winkels.

⁴⁾ Das gilt aber natürlich, streng genommen, nur für die unmittelbaren benachbarten Teile der verschobenen Masse. Denn wir wissen ja aus dem Wechsel der Sprunghöhen einer und derselben Verwerfung wie aus dem sehr häufig verschiedenen Streichen und Fallen zweier, an eine Verwerfung angrenzender Schollen, daß diese oft genug nicht parallel mit sich selbst verschoben werden, sondern eine Drehbewegung erfahren. HÖFER hat das am angegebenen Orte eingehend erläutert. Man vgl. auch. A. von KOENENS wichtige Erörterungen über gekrümmte Verwerfungsflächen in seiner Arbeit: „Über postglaciale Dislokationen“. Jahrb. d. preuß. geol. Landesanst. für 1886. Berlin, 1887, S. 6 u. f.

Als Kartensignatur für gemeine Klüfte haben wir einfache Linien gezeichnet, die in der Streichrichtung gezogen werden¹⁾. Steht die Kluft vertikal, so bekommt sie in der Mitte einen kurzen Querstrich nach beiden Seiten (Fig. 1). Ist sie geneigt, so wird das in bekannter Weise durch einen senkrecht zu der Linie angesetzten Pfeil ausgedrückt (Fig. 2). Handelt es sich

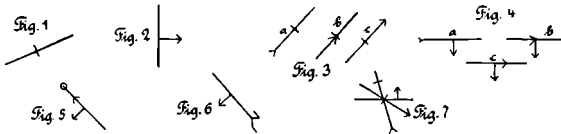


Fig. 1. NO-streichende, vertikale, gemeine Kluft.

Fig. 2. N—S-streichende, O-fallende, gemeine Kluft.

Fig. 3. NO-streichender, vertikaler Harnisch mit horizontalen Streifen in a, 45° nach NO ansteigenden Streifen in b, vertikalen Streifen in c.

Fig. 4. O—W-streichender, S-fallender Harnisch, in a mit horizontalen, in b mit 45° ostwärts steigenden, in c mit 60° ostwärts steigenden Streifen.

Fig. 5. NW-streichender, SW-fallender Harnisch, dessen Streifen mit 67 $\frac{1}{2}$ ° Steigung das Maximalgefälle der Harnischfläche haben, also der Fall-Linie parallel gehen.

Fig. 6. NW-streichender, SW-fallender Harnisch mit horizontalen Streifen, an dem die nordöstliche Scholle im Verhältnis zu der südwestlichen weiter nach NW verschoben ist.

Fig. 7. Sternsymbol für eine O—W-streichende, N-fallende gemeine Kluft, einen NNW-streichenden, vertikalen Harnisch mit horizontalen Streifen und einen SO-streichenden, vertikalen Harnisch mit vertikalen Streifen.

nicht um eine gemeine Kluft, sondern um einen Harnisch, so setzen wir auf die Längslinie der Kluft einen Pfeilkopf auf. Sitzt dieser wie in Figur 3a an dem Anfang einer Linie mit einfachem Querstrich, so bedeutet das horizontalen Verlauf der Harnischstreifen an vertikaler Harnischfläche. Sitzt der Pfeilkopf in der Mitte, so steigen die Harnischstreifen mit 45° über

¹⁾ Befinden sich auf derselben Karte auch noch Fallzeichen von Schichten, so kann man die Kluft- und Harnischzeichen leicht durch rote oder blaue Farbe abheben. Ich würde für Druckfugen, einschließlich Harnische, das für Verwerfungen übliche Rot, für Strukturfugen Blau verwenden. Bei der LINDSchen und bei der DINDSchen Karte war das nicht nötig, da das Fallen der Schichten meist sehr gering ist und oft in den einzelnen Aufschlüssen gar nicht sicher gemessen werden kann. Erst aus dem Verlauf der Formationsgrenzen kann man in den betreffenden Gebieten das allgemeine Fallen der Schichttafeln sicher erschließen. Das Fallen der stärker geneigten Randschollen des Pfälzer Waldes ist bereits auf der LEPPLASchen Karte dargestellt.

der Horizontalebene an (Fig. 3b). Sitzt er am Ende, so stehen sie vertikal (Fig. 3c), was natürlich überhaupt nur bei vertikaler Stellung der Harnischfläche selbst möglich ist.

Ist die Harnischfläche geneigt, was, wie bereits angeführt, durch einen in der Fallrichtung quergestellten kleinen Pfeil gekennzeichnet wird, so bedeutet der am Anfang der Längsline aufgesetzte Pfeilkopf ebenfalls horizontalen Verlauf der Streifen (Fig. 4a). Der Pfeilkopf in der Mitte bedeutet ein wahres Fallen der Harnischstreifen von 45° (Fig. 4b). Reicht der Pfeilkopf noch weiter, so stehen die Streifen entsprechend steiler (Fig. 4c). Ganz ans Ende kann er aber nicht rücken, da das Maximalfallen der Streifen ja nie das Fallen der Fläche übersteigen kann. Da es indessen für den Leser wichtig ist, ohne weiteres zu erkennen, daß die Richtung der Streifen mit der Fallrichtung übereinstimmt, so empfiehlt es sich, in diesem Falle auf das Ende der Streichlinie einen kleinen Kreis zu setzen (Fig. 5).

In der LINDSchen und in der DINUSchen Arbeit waren wir noch insofern etwas abweichend vorgegangen, als wir bei geneigten Harnischflächen den Pfeilkopf ans Ende setzten, wenn das Fallen der Streifen mit dem Fallen der Fläche übereinstimmte. In den im Gange befindlichen Arbeiten werden die Signaturen bereits in der vorher beschriebenen Weise gezeichnet.

Bei den Untersuchungen von LIND und DINU ist die bei HÖFER mitgeteilte und neuerdings von HEIM eingehend beschriebene Methode zur Feststellung des relativen Sinnes der Bewegung noch nicht verwendet worden¹⁾. In den jetzt im Gange befindlichen Untersuchungen werden wir uns aber bemühen, auch diese Methode soweit als möglich zu verwerten. Für den Fall, daß das gelingen sollte, werden wir dem Harnischpfeilkopf noch zwei der Streichrichtung der Harnischfläche parallele, aber entgegengesetzt gerichtete kurze Striche anhängen und durch deren Richtung den relativen Sinn der Bewegung ausdrücken (Fig. 6).

Eine besondere Erwähnung verdient auch noch das Verfahren, das in den Arbeiten von LIND und DINU angewandt worden ist, um trotz des kleinen Maßstabes der Karte die verschiedenen Klüfte und Harnische eines oder mehrerer dicht benachbarter Aufschlüsse noch zur Darstellung bringen zu können. Wir haben in solchen Fällen die Signaturlinien zu

¹⁾ HEIM (Säntisgebirge. S. 243) sagt dafür: „der relative Verstellungssinn“.

einem Sternsymbol vereinigt (Fig. 7). Fielen die Streichrichtungen mehrerer Klüfte zusammen, so wurde die betreffende Linie fetter gezeichnet. Stimmt nur die Streichrichtung, nicht aber die Fallwinkel überein, so wurden an die Längslinie mehrere Querpfeile angesetzt. Hatten mehrere Harnischflächen gleiche Orientierung, aber ungleich ansteigende Streifen, so wurden auf die Längslinie des Symbolen mehrere Pfeilköpfe an den betreffenden Stellen aufgesetzt. Ich verhehle mir indessen nicht, daß ein Teil der LINDSchen Sternsymbole im Druck wegen der starken Häufung der Linien unklar geworden ist. Es ließ sich das bei dem kleinen Maßstab der Karte leider nicht vermeiden¹⁾. Man wird bei ihrer Benützung daher gut tun, auch noch die der Arbeit beigegebene Harnischtabelle auf S. 44 u. 45 mitzuverwenden.

Zum Schlusse dieser Auseinandersetzungen über die Signaturen sei noch ausdrücklich hervorgehoben, was freilich eigentlich selbstverständlich ist, daß die geographische Richtung, oder wie ich dafür sagen will, die Streichrichtung der Harnischstreifen gewöhnlich nicht identisch ist mit der Streichrichtung der Harnischfläche. Die Streichlinie eines Harnischstreifens erhält man, wenn man diesen auf die Horizontalebene projiziert. Das Streichen der Streifen und der zugehörigen Harnischfläche fällt nur bei horizontalem Verlaufe der Streifen zusammen. Sind die Streifen aber geneigt, so bilden die beiden Streichrichtungen einen mehr oder minder großen Winkel in der Horizontalebene. Man kann diesen Winkel indessen stets aus den mitzuteilenden Daten über die Orientierung der Harnischfläche und den wahren Fallwinkel der Streifen berechnen.

Nach diesen Auseinandersetzungen über die Art der Messung und Darstellung der Harnische kehre ich nun zu dem Verlaufe der bereits ausgeführten 2 Kartierungen zurück. LIND hat in einem Gebiet von 1480 km² 1273 Klüfte und 133 Harnische an 254 Aufschlüssen gemessen²⁾. Man kann wohl annehmen, daß bei diesen großen Zahlen die aus den vorher angeführten Quellen stammenden Fehler unschädlich gemacht sein werden. — Aus den LINDSchen Messungen haben sich die folgenden Hauptresultate ergeben:

¹⁾ z. B. bei Dossenheim. Freilich würde eine noch zartere Linienführung ein klareres Bild geliefert haben. Die DINUSche Karte ist wesentlich klarer.

²⁾ Dabei sind alle zweifelhaften Klüfte und Harnische (Kontraktionsrisse der Erstarrungsgesteine, Risse und Harnische, die von Gehängereutschungen herrühren können usw.) möglichst bei Seite gelassen.

1. „Die Orientierung des Flußnetzes ist im Heidelberger Gebiet trotz aller Ereignisse der langen geologischen Geschichte in erster Linie durch die Spaltensysteme der Tertiärzeit bedingt.“ Dabei „scheint im allgemeinen die Art der Ausbildung eines Spaltensystemes die Flußrichtungen stärker zu beeinflussen als die nachweisbare Zahl der Spalten. Sind z. B. die Spalten gut entwickelt, d. h. gehen sie durch viele Schichten von unten bis oben durch, lassen sie sich auch horizontal eine größere Strecke weit verfolgen und klaffen sie stark, so haben sie einen größeren richtungsbestimmenden Einfluß als zwar zahlreiche, horizontal und vertikal aber wenig ausgedehnte und wenig geöffnete Spalten, die das erste System kreuzen“¹⁾.
2. In dem an dem östlichen Rande des Rheintalgrabens gelegenen Untersuchungsgebiet ist ein longitudinales und ein transversales Harnischsystem unterscheidbar. „Das horizontale Element der Bewegung hat sowohl längs der longitudinalen als auch längs der transversalen Spalten eine bedeutende Rolle gespielt. Das deutet als Ursache tangentialen Druck an, der im allgemeinen in NS- und OW-Richtung wirkte“. (S. 42).

Von den Einzelresultaten scheint mir eines eine besondere Bedeutung zu haben. In der Transversalgruppe der Harnische haben „nur 2 Proz. Streifen, die parallel mit dem Einfallen der Harnischflächen laufen . . . , 2 Proz. haben horizontale Streifen. 62 Proz. haben Streifen, deren horizontales Element der Bewegung größer ist als das vertikale; 40 Proz. haben Streifen, die mit der Horizontalebene einen Winkel von 0—10° einschließen“.

Die aufgeführten Ergebnisse der Harnisch-Untersuchungen zusammen mit anderen in der Originalarbeit zu vergleichenden schienen mir so wichtig und mit den herrschenden Anschauungen so wenig vereinbar zu sein, daß ich einen zweiten Schüler von mir, Herrn JON DINU aus Bukarest, dazu veranlaßte, den süd-östlichen Pfälzer Wald, also das bereits von LEPPLA studierte Gebiet, das dem LINDSchen auf der anderen Seite des Rheintalgrabens gegenüberliegt, einer entsprechenden Untersuchung hinsichtlich der gemeinen Klüfte und der Harnische zu unterwerfen. (Vgl. S. 503).

DINU hat dort an 342 Aufschlüssen 2281 Klüfte und 199 Harnische gemessen. Das von ihm begangene Gebiet dehnt

¹⁾ LIND: a. a. O., S. 30.

sich von Neustadt a. d. Hart im Norden bis Weißenburg i. Els. im Süden aus. Es reicht vom Gebirgsrande im Osten bis zu der großen Parallelverwerfung der Rheintal-Hauptspalte, die sich aus dem Elsaß über Wilgartswiesen nach Weidental zieht. Es mißt etwa 50 km in der NS-, etwa 23 in der OW-Richtung.

Von DINU's Resultaten zitiere ich an dieser Stelle nur die folgenden:

1. „Aus dem Vorhergehenden ergibt sich mit Sicherheit der Schluß, daß tatsächlich die Gesteinsfugen innerhalb des von mir untersuchten Gebietes einen sehr deutlichen Einfluß auf die Richtung der heutigen Talstücke ausüben“.
2. „Aus allen diesen Untersuchungen erhellt, daß auch linksrheinisch ähnlich wie rechtsrheinisch das ganze Gebirgsgebiet durch ein Bruchnetz, in welchem zwei Richtungen, eine ungefähr nordsüdliche und eine ost-westliche vorherrschen, in Schollen zerteilt wird. Diesen zwei Hauptbruchsystemen entlang gingen Bewegungen vor sich. Bezeichnend für diese Bewegungen ist die Tatsache, daß die horizontale Komponente der Bewegung eine viel wichtigere Rolle gehabt hat, als man bis jetzt annahm. 45,4 Proz. der Rutschflächen der Transversalgruppe zeigen Streifen, bei welchen die horizontale Bewegungskomponente größer als die vertikale ist, und von diesen 45,4 Proz. haben nur 27,5 Proz. nach W ansteigende Streifen, während 57,5 Proz. nach O ansteigende und 15 Proz. horizontale besitzen“.
3. „Diese Erscheinungen bekräftigen uns also, ebenso wie die Resultate der Messungen an den Harnischspalten, in der Überzeugung, daß der Mechanismus der Dislokationen in unserem Gebiete viel komplizierter ist, als man bis jetzt angenommen hat, daß jedenfalls der Seitendruck eine wichtige Rolle gespielt hat, und daß sicherlich die Annahme eines einfachen, durch die Schwerkraft bedingten Einsinkens der Rheintalscholle allein nicht zur Erklärung der beobachteten Tatsachen ausreicht. Das Vorherrschen der nach Osten ansteigenden Streifen am Transversalsystem der Randzonenharnische läßt sich kaum anders erklären als durch die Annahme, daß eine Tendenz bestand, die randlichen Gebirgsschollen bis zu einem gewissen Maße über den Graben hinüberzuschieben“.

Sowohl DINU wie LIND haben sich übrigens bei der Erforschung der Tektonik der Rheingraben-Ränder auf meinen Wunsch nicht bloß der Harnische bedient, sondern sie haben

auch die Messung der gemeinen Klüfte zu demselben Zweck verwertet. Es zeigte sich nämlich bei ihren Aufnahmen, daß sowohl rechtsrheinisch wie linksrheinisch je zwei einander annähernd senkrecht schneidende Haupt-Spalten-systeme vorliegen, deren Streichrichtungen den Grabenverwerfungen parallel gehen bzw. senkrecht zu ihnen stehen. Von den beiden Systemen ist hüben wie drüben das longitudinale wesentlich stärker entwickelt als das transversale. Es kann nun gar kein Zweifel darüber vorhanden sein, daß diese gemeinen Klüfte fast alle nichts anderes sind als Verwerfungen mit nicht mehr meßbaren Verschiebungsgrößen. Schon DAUBRÉE kam zu diesem Ergebnis; LEPLAS und HOBBS Untersuchungen führten ebenfalls dazu, und aus den Arbeiten von LIND und DINU geht es klar hervor.

Ein noch viel wichtigeres Resultat ergab aber die Messung der Fallrichtungen der Klüfte. Allerdings besteht, wie schon auf S. 504 hervorgehoben, eine bereits von DAUBRÉE und LEPLA erkannte Tendenz zur Anordnung der Klüfte senkrecht zu den Schichtflächen, und zwar parallel und senkrecht zu der Streichlinie. Indessen zeigen mir meine eigenen Beobachtungen ebenso wie die Ergebnisse der LIND-DINUSCHEN Untersuchungen, daß es unter dem Einfluß der gebirgsbildenden Bewegungen doch auch sehr häufig zur Bildung von schräg zu den Schichtflächen stehenden Klüften kommt. Nun hat schon ANDREAE¹⁾ in dieser Hinsicht eine wichtige Überlegung veröffentlicht, die auch ich 1903 eingehend erörtert habe²⁾. Bei den gewöhnlichen Hypothesen über die Entstehung des Rheintalgrabens sollte man nämlich erwarten, daß in den longitudinalen Spalten-systemen neben vertikalen Klüften und Verwerfungen im wesentlichen nur nach der Grabenmitte einfallende Spalten vorkämen. Dagegen müßten Spalten, die gegen die Horste gerichtet sind, zu den Ausnahmen gehören oder doch nur da auftreten, wo die Schichten gegen die Mitte des Grabens einfallen.

Bei der ANDREAESCHEN und bei meiner Hypothese, der sich übrigens neuerdings auch J. WALTHER³⁾ angeschlossen hat, ist es dagegen erklärlich und notwendig, daß neben vertikalen und gegen die Grabenmitte gerichteten Spalten auch von dieser abgewandte Spalten und Verwerfungen in erheblicher Zahl auftreten.

¹⁾ Verhandl. Naturh. Mediz. Verein Heidelberg. N. F. IV., S. 19 u. f.

²⁾ Diese Zeitschr. 1903, Bd. 55, S. 413 u. 414.

³⁾ Vorschule d. Geologie. I. Aufl. 1905, S. 100—101. Ebenso in Neue Zeitschr. f. Miner., Geol. und Paläontolog., Augustheft 1910, S. 55.

Die Messung der Fallrichtungen der Klüfte und Verwerfungen ist also eines der Mittel zur Prüfung der betreffenden Hypothesen.

Sehen wir nun, welche Ergebnisse die beiden fertig vorliegenden Arbeiten in dieser Hinsicht hatten.

LIND (S. 38 u. f.) fand, daß von den mit weniger als 71° einfallenden longitudinalen Klüften des ganzen Gebietes $36 = 61$ Proz. nach Osten, $23 = 39$ Proz. nach Westen einfallen. Von den mit $71-85^\circ$ einfallenden, sehr viel zahlreicheren Klüften fand er $154 = 44,4$ Proz. ostfallend, $193 = 55,6$ Proz. westfallend. Innerhalb einer nur $1,5$ km vom Gebirgsrande ausgedehnten Zone waren die Zahlen die folgenden:

Gruppe I (weniger als 71° Fallen)
 Ostfallen $16 = 76$ Proz.,
 Westfallen $5 = 24$ Proz.

Gruppe II ($71-85^\circ$ Fallen)
 Ostfallen $38 = 45,7$ Proz.,
 Westfallen $45 = 54,3$ Proz.

Allerdings darf bei der Bewertung dieser Zahlen nicht vergessen werden

1. daß außerdem noch 413 vertikale oder annähernd vertikale Longitudinalklüfte beobachtet wurden, und
2. daß als Longitudinalgruppe alle Klüfte mit einem Streichen zwischen $N 45 O$ und $N 45 W$ zusammengefaßt wurden, während die Hauptverwerfungen zwar im großen und ganzen, aber keineswegs immer genau N-S laufen.

Andererseits fallen die Schichten in dem untersuchten Gebiet im allgemeinen nach SO bzw. SSO, so daß also durch die vorher besprochene Tendenz der Klüftstellung senkrecht zur Schichtfläche die gegen die Horste einfallenden Klüfte an Zahl nicht vermehrt sein können.

Jedenfalls also scheint mir, das Vorherrschen ostfallender Klüfte in der Gruppe I und ihre immer noch sehr starke Vertretung in der Gruppe II sehr schwer mit den alten Hypothesen über die Entstehung des Rheingrabens in Einklang gebracht werden zu können¹⁾.

DINU fand im Pfälzer Wald, also auf der Westseite des Grabens, die folgenden Zahlen, die ich ebenso gruppiere wie vorher bei LIND.

¹⁾ LIND selbst stimmte in dieser Hinsicht nicht ganz mit mir überein. Vgl. S. 42, Fußn. 1, bei ihm.

Gesamtgebiet.

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Gruppe I (weniger als 71° Fallen) | |
| Ostfallen | 95 = 39 Proz., |
| Westfallen | 174 = 61 Proz. |
| Gruppe II (71—85° Fallen) | |
| Ostfallen | 282 = 50,4 Proz., |
| Westfallen | 277 = 49,6 Proz. |
| Vertikal (85—90°) | 427. |

Randzone bis 1,5 km vom Gebirgsrand.

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Gruppe I (weniger als 71° Fallen) | |
| Ostfallen | 46 = 31,7 Proz., |
| Westfallen | 99 = 68,3 Proz. |
| Gruppe II (71—85° Fallen) | |
| Ostfallen | 137 = 45,7 Proz., |
| Westfallen | 163 = 54,3 Proz. |
| Vertikal (85—90°) | 167. |

Auch hier ist die große Zahl der vertikalen oder annähernd vertikalen Klüfte zu berücksichtigen sowie die Tatsache, daß der Gebirgsrand von Weißenburg bis Neustadt a. d. Hardt nicht N-S, sondern im ganzen etwa NNO streicht, während auch hier als Longitudinalgruppe alle Klüfte mit einem Streichen zwischen N 45 O und N 45 W gerechnet sind. Der dadurch entstandene Fehler spielt aber nur eine sehr kleine Rolle, weil unter den longitudinalen Klüften die NNO-streichenden tatsächlich stark vorherrschen.

Was die Orientierung der Schichten betrifft, so sieht man aus LEPPLAS Übersichtskarte, daß nahe dem Gebirgsrande SO-Fallen, weiter weg aber NW-Fallen herrscht. Am Gebirgsrande mag also durch die Tendenz zur Zerklüftung senkrecht zu den Schichtflächen die Zahl der gebirgswärts fallenden Klüfte vermehrt sein. Im Gesamtgebiet muß sich das aber wieder ausgleichen. In diesem finden wir nun ein sehr starkes Vorherrschen der westfallenden Klüfte der ersten Gruppe und annähernde Gleichheit der Zahl in der zweiten Gruppe. In der Randzone ist das Vorherrschen der westfallenden Klüfte beider Gruppen wohl infolge der besprochenen Tendenz etwas größer.

Auf alle Fälle scheint mir aber auch hier das Vorherrschen bzw. die gleichstarke Vertretung der gebirgswärtsfallenden Klüfte sehr schwer erklärlich für den, der auf dem Boden der alten Hypothesen über die Entstehung des Rheingrabens steht, und **unerklärlich**, wenn man berücksichtigt, daß sich die

beiden gegenüberliegenden Gebiete jedes genau umgekehrt verhalten, als es die alten Hypothesen verlangen.

Schon aus den beiden hier angeführten und fertig vorliegenden Arbeiten ergibt sich meiner Ansicht nach die große Bedeutung der Untersuchung und Kartierung der gemeinen Klüfte und besonders der Harnische, erstens für die Erklärung des Verlaufes unserer Talsysteme, zweitens aber für das Verständnis und die Erklärung des Mechanismus der Gebirgsbildung und in unserem besonderen Falle also der Entstehung des Rheingrabens.

Ich will aber vorsichtig sein und nicht behaupten, daß mit den beiden bereits durchgeführten Arbeiten genügend geschehen sei. Ich habe vielmehr, um zu sicher einwandfreien Resultaten zu kommen, wie bereits auf S. 503 erwähnt, eine Reihe von anderen Schülern von mir veranlaßt, entsprechende Themata zu bearbeiten. Drei solcher Arbeiten sind bereits im Gange, die eine im nördlichen Schwarzwald in der Umgebung von Pforzheim, eine zweite im mittleren Schwarzwald bei Lahr und eine dritte in den nördlichen Vogesen in der Umgebung von Barr. Ich hoffe, binnen kurzem noch wenigstens drei andere Gebiete nach denselben Grundsätzen bearbeiten lassen zu können und habe dabei unter anderen auch den Schweizer Tafeljura ausgewählt. Auch hat mir Herr Dr. BORZONG in Aussicht gestellt, daß er nach Vollendung anderer Arbeiten die Zaberner Bucht in derselben Weise untersuchen will. Wenn alle diese Arbeiten beendet sein werden, hoffe ich, mich mit größerer Bestimmtheit über den Mechanismus des Rheingraben-Einbruches aussprechen zu können. Sehr viel erwarte ich von der Untersuchung des Schweizer Tafeljuras, weil dort nach den Feststellungen v. HUENES¹⁾, BUXTORFS²⁾ und BLÖSCHS³⁾ tatsächlich nach unten konvergent begrenzte Gräben auftreten.

Auf alle Fälle glaube ich aber jetzt bereits behaupten zu können, daß die Messung und Kartierung der Harnische einen ganz wesentlichen Beitrag zum

¹⁾ Verh. d. Naturf. Gesellsch. zu Basel, 1900. Bd. XII.

²⁾ Beitrag zur geol. Karte der Schweiz. N. F. 11. Lieferung, Bern, 1901.

³⁾ Neues Jahrb. f. Mineral. Beil. Bd. XXIX. Stuttgart, 1910. — BLÖSCH hält in seiner interessanten Darlegung (S. 662) die Bildung der Grabenbrüche durch Horizontalschub für unwahrscheinlich und weist auf die enorme Reibung hin, die bei steiler Spaltenstellung zu überwinden ist. Ich möchte für jetzt jede theoretische Reflexion vermeiden und die Ergebnisse der ausstehenden Arbeiten abwarten.

Fortschritte der tektonischen Geologie, insbesondere der Tafel- und Schollengebirge, liefern kann. Es wäre sehr erfreulich, wenn die geologischen Landesanstalten als die dazu geeignetsten und berufensten Vertreter der wissenschaftlichen Geologie sich entschließen könnten, sich auch dieser Aufgabe zu widmen.

Nachtrag.

Erst nach Abschluß der vorstehenden Arbeit lernte ich infolge eines Literaturhinweises in der auf S. 520 zitierten Veröffentlichung von BLÖSCH die „Observations sur la théorie des „Horst“ von A. DE GROSSOUVRE kennen¹⁾.

In dieser sehr wichtigen Abhandlung wird nicht nur die Frage der absoluten und relativen Hebung der Horste in ganz eigenartiger und geistreicher Weise behandelt. Es wird auch in ziemlich ähnlicher Art, wie ich das erst 1903 (a. a. O.) getan habe, auf die Möglichkeit der Bildung überschobener Gräben durch Tangentialdruck hingewiesen. Ich bedauere es, an dieser Stelle nicht mehr näher auf die GROSSOUVRESche Arbeit eingehen zu können, hoffe das aber bei einer anderen Gelegenheit nachzuholen.

¹⁾ Bull. Soc. géol. France. Sér. III. Tome 17, 1888–89, S. 435 bis 443.