

Die gitter-, netz- und wabenförmige Verwitterung der Sandsteine.

Von **Daniel Häberle**.

(Mit Tafel XII u. XIII.)¹⁾

Literatur.

- ANDRÉE, K., Verschiedene Beiträge zur Geologie von Canada. Schriften d. Ges. z. Beförderung der ges. Naturw. zu Marburg. XIII. Bd. 7. Abtlg.
- BECK, R., Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte des Königreichs Sachsen, Sektion Königstein-Hohnstein, Blatt 84, S. 19ff., Leipzig 1893, und Blatt Sebnitz-Kirnitzschtal, Bl. 85, S. 25ff., Leipzig 1895.
- BECK, R., Über die korrodierende Wirkung des Windes im Quadersandsteingebiet der Sächsischen Schweiz. Zeitschr. d. Deutschen Geologischen Gesellschaft 1894, Bd. 46, S. 537—546.
- BEYER, O., Alaun und Gips als Mineralneubildungen und als Ursachen der chemischen Verwitterung in den Quadersandsteinen des sächsischen Kreidegebietes. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges., 1911, Bd. 63, S. 429—467.
- BRUNHES, M. J., Érosion tourbillonnaire éolienne. Contribution à l'étude de la morphologie désertique (mit weiteren Literaturangaben). Memorie della Pontificia Accademia Romana dei Nuovi Lincei, 1903, vol. XXI, S. 129—148.
- FUTTERER, K., Über Windkorrasion am Heidelberger Schloßturn. Mitteilungen der Bad. Geolog. Landesanstalt 1899, Bd. III, S. 471—495.
- FUTTERER, K., Der Pe-schan als Typus der Felsenwüste. Ein Beitrag zur Charakteristik der Felsenwüsten Zentralasiens. Geogr. Zeitschr. 1902, Bd. VIII, S. 249ff. Mit zahlreichen Abbildungen.
- FUTTERER, K., Durch Asien. Erfahrungen, Forschungen und Sammlungen, 2 Bde., Berlin 1901, 1905 und 1909.
- GÖTZINGER, G., HÄBERLES Messungen der Fortschritte der Verwitterung, Erosion und Denudation. Eine Anregung zur Sammlung einschlägiger Beobachtungen in der Heimat. Deutsche Rundschau für Geographie, 1911, XXXIV, S. 175 bis 178.
- GÖTZINGER, G., Zur Frage der Wüstenformen in Deutschland. Deutsche Rundschau für Geographie 1913, XXXV, S. 524—526.
- GRAF ZU LEININGEN-WESTERBURG, W., Die Verwitterung. Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien 1913, 53. Bd., S. 173—203.
- GÜNTHER, S., Zur Frage der durch Verwitterung entstehenden Gesteinsauhöhlungen. Mit einer Kartenskizze und zehn Abbildungen. Prometheus 1909, XX, S. 321 ff.

¹⁾ Die Zinkstöcke zu den hier wiedergegebenen Abbildungen wurden von dem Vorstand des Naturhistorisch-medizinischen Vereins zu Heidelberg in entgegenkommender Weise leihweise überlassen.

- GÜNTHER, S., Untersuchungen über Wackelsteine und damit zusammenhängende Denudationserscheinungen, 17 S. Mit 3 Abbildungen. Sitzungsberichte der bayer. Akad. d. Wissensch. zu München, Math.-physikal. Kl., Jahrg. 1909.
- HÄBERLE, D., Das Felsenland des Pfälzerwaldes (Pfälzischer Wasgenwald). Ein Beispiel für die Entstehung bizarrer Verwitterungsformen im Buntsandstein. Pfälz. Heimatkunde 1911, VII. Jahrg., S. 7ff. Kaiserslautern, Kayser 1911.
- HÄBERLE, D., Über Kleinformen der Verwitterungen im Hauptbuntsandstein des Pfälzerwaldes und deren Entstehung. Mit 4 Tafeln und 6 Abbildungen im Text. Verhandl. d. Naturhist.-Medizin. Ver. zu Heidelberg 1911, Bd. XI, S. 167—209. Heidelberg, Winter 1911.
- HÄBERLE, D., Der Pfälzerwald. Ein Beitrag zur Landeskunde der Rheinpfalz (Die Rheinlande in naturwissenschaftlichen und geographischen Einzeldarstellungen, herausgeg. v. C. MORDZIOL, Heft 3). Braunschweig u. Berlin, George Westermann 1913.
- HETTNER, A., Gebirgsbau und Oberflächengestaltung der Sächsischen Schweiz. Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde, Bd. II, Heft 4, Stuttgart 1887.
- HETTNER, A., Die Felsbildungen der Sächsischen Schweiz. Geogr. Zeitschr. 1903, IX. Jahrg., S. 608—626.
- HETTNER, A., Wüstenformen in Deutschland? Geogr. Zeitschr. 1910, XVI, S. 690 bis 694.
- HIRSCHWALD, J., Die Prüfung der natürlichen Bausteine auf ihre Wetterbeständigkeit. Berlin 1908.
- HÖGBOM, B., Wüstenerscheinungen auf Spitzbergen. Bulletin of the Geol. Institut of the University of Upsala 1911, XI, S. 242—257.
- KAISER, E., Die Verwitterung der Gesteine, besonders der Bausteine. Im Handbuch der Stein-Industrie, Bd. I. Berlin, Union 1914.
- KAISER, E., Verwitterung. Handwörterbuch der Naturwissenschaften, Bd. X. Jena, Fischer, 1913.
- KESSLER, P., Einige Wüstenerscheinungen aus nicht aridem Klima. Geolog. Rundschau, 1913, Bd. IV, S. 413—423.
- KREBS, N., Morphologische Beobachtungen in den Wüsten Ägyptens. Mitt. d. K. K. Geogr. Ges. in Wien 1914, Bd. 57, S. 312—321.
- LOZINSKI, W. v., Über die mechanische Verwitterung der Sandsteine im gemäßigten Klima. Mit 5 Abbildungen. Bull. Intern. de l'Academie des Sciences de Cracovie, Classe des sciences mathém. et natur. 1909, S. 1—25.
- MERRIL, G. P., A Treatise on Rocks, Rock-Weathering and Soils. New York 1905.
- OBST, E., Die Oberflächengestaltung der schlesisch-böhmischen Kreideablagerungen. Ein Beispiel für die Einwirkung der Diluvialperiode auf das Relief der deutschen Mittelgebirge, 107 S., 27 Abb. Diss., Breslau 1909. Mitteilungen der Geogr. Gesellschaft in Hamburg, 1909, Bd. XXIV.
- PASSARGE, S., Verwitterung und Abtragung in den Steppen und Wüsten Algeriens. Verhandl. d. XVII. deutsch. Geographentages zu Lübeck 1909 [1910], S. 102 bis 124.
- PASSARGE, S., Wüstenformen in Deutschland? Geogr. Zeitschr. 1911, S. 578—580.
- PASSARGE, S., Die Trockengebiete Algeriens. Geolog. Charakterbilder, herausgeg. v. H. STILLE, Heft 17. Berlin 1913.
- PETRASCHECK, W., Die Oberflächen- und Verwitterungsformen im Kreidegebiet von Adersbach und Weckelsdorf. Jahrbuch der k. k. Reichsanstalt zu Wien 1908, Bd. 58, S. 610—619.
- RAMANN, E., Bodenkunde. 3. Aufl. Berlin, Springer, 1911.
- RATHSBURG, A., Zur Morphologie des Heuscheuergebirges, zugleich ein Beitrag zur Morphologie der Sächsischen Schweiz und der »Wüstenformen« in Deutschland überhaupt. 18. Bericht d. Naturw. Ges. zu Chemnitz 1912, S. 120—187.

- SJUTS, H., Über die Bedeutung der Verwitterung für die Umgestaltung der Erdoberfläche. 101 S. Diss., Bonn 1906.
- WALTHER, J., Die Denudation in der Wüste und ihre geologische Bedeutung. Abhandlung der math.-physik. Kl. der Kgl. sächs. Akad. d. Wiss. 1891, Bd XVI, Nr. III, S. 347—569.
- WALTHER, J., Das Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart und Vorzeit. 2. Aufl. IX u. 342 S. 147 Abb. Leipzig, Quelle & Meyer 1912.

Wegen der hier einschlägigen weiteren Literatur wolle man ferner vergleichen die Angaben bei:

- KAYSER, E., Lehrbuch der Geologie. 4. Aufl. Bd. I: Äolische Abtragung, S. 230 bis 241. Verwitterung S. 259—296. Stuttgart 1912.
- KENDE, O., Handbuch der geographischen Wissenschaft, I. Teil: Allgemeine Erdkunde. Darin: J. SÖLCH, Die Formung der Landoberfläche. 1. Die Verwitterung, S. 140—144. 6. Windwirkungen, S. 187—190. Berlin, Voss 1914.
- RÜHL, A., Der Einfluß von Verwitterung und Erosion auf die Bodengestaltung (1903—1909). Geogr. Jahrbuch 1912, Bd. XXV. Darin: Verwitterung, S. 81—86 und Tätigkeit des Windes, S. 119—131.
- STROMER, E., Geographische Beobachtungen in den Wüsten Ägyptens. Mitteilungen des Ferdinand von Richthofen-Tages 1913, S. 1—26. Berlin 1914.
- SUPAN, A., Grundzüge der physischen Erdkunde. 5. Aufl. Leipzig 1911. Darin: Verwitterung und Denudation, S. 470—484 und: Die Arbeit des Windes, S. 571—583.

Im vorletzten Jahrgang dieser Zeitschrift hat Herr P. KESSLER auf S. 413—423 eine dankenswerte Übersicht über einige Wüstenerscheinungen aus nicht aridem Klima gegeben und dabei S. 415 auch der Steingitter¹⁾ gedacht. Mit Recht hat er darauf hingewiesen, daß die von J. WALTHER auf S. 173 seines Werkes abgebildeten Steingitter auf Sandstein von Arizona ebensogut die Abbildung irgendeines Wabensandsteins aus dem oberen (oder mittleren) Buntsandstein Südwestdeutschlands sein könnten. Wie die Entstehung dieser vielgestalteten

¹⁾ Auf die von KESSLER in derselben Arbeit erörterte Entstehung der Steilwände und isolierten Felspartien, sowie der Täler mit Blindenden war auch ich in meiner Abhandlung »Der Pfälzerwald« (Die Rheinlande, Heft 3), S. 42 bis 56 schon eingegangen. Da manche dieser merkwürdigen Felsgebilde sich fast unvermittelt über die Ebenheiten des meist aus sandig-tonigen Schichten bestehenden unteren Buntsandsteins erheben, muß bei deren Herausbildung das auf der Grenze zwischen mittleren und unteren Buntsandstein austretende Sickerwasser, ebenso wie dies HETTNER für die sächsische Schweiz annimmt, eine gewisse Rolle gespielt haben, jedenfalls hat es die Flächenabtragung und die Entstehung der Ebenheiten begünstigt; daß aber auch im Hintergrund von benachbarten Tälern hier und da mit Vegetation bedeckte alte Dünenwälle vorkommen und damit ein früheres Trockenklima andeuten, soll nicht unerwähnt bleiben.

Die Entstehung der zahlreichen ganz unvermittelt beginnenden, tief eingesenkten Wadi-ähnlichen Trockentäler im Pfälzerwald habe ich durch das Ausstreichen einer früher wasserführenden Schicht zu erklären versucht. V. SCHULZ dagegen sieht diese eigentümliche Formen der Trockentäler im Buntsandstein des Mittellaufs der Saale als Überreste aus der nacheiszeitlichen Periode ariden Klimas in Mitteldeutschland an. (Beitr. zur Morphologie des Buntsandsteingebietes im Mittellauf der Saale. Dissertation Jena 1913, S. 46.)

Gebilde zu denken ist, hat er allerdings nur ganz kurz angedeutet. »Wirkungen der Insolation auf die Litose, also ein chemisch-physikalischer Vorgang an erster, Windausräumung an zweiter Stelle sind nach WALTHER die Bildner der Felsgitter in der Wüste. Darin stimmt also der Vorgang im ariden und im humiden Klima überein, daß eine chemisch-physikalische Auflösung ganz bestimmter, schon vorher durch die Gesteinsbeschaffenheit festgelegter Teile der Ausräumung vorangehen muß. Daß in der Gesteinsbeschaffenheit die Hauptursache der Gitterbildung zu suchen ist, wird durch das Auftreten der Gitter in ganz bestimmten Horizonten zwischen gitterfreien Horizonten bewiesen.«

Dieser Auffassung KESSLERS kann wohl unbedenklich zugestimmt werden. Unterschiede in der Struktur und in der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung, verschiedene Erwärmungs- und Ausdehnungsfähigkeit, Wetterbeständigkeit der klastischen Bestandteile, Kornbindung, Porosität und die dadurch bedingte Wasseraufnahmefähigkeit, ungleiche Ausbildung der Parallelstruktur und Schieferung usw., dies alles trägt dazu bei, daß das Gestein, insbesondere nackte Felswände und auch Mauerwerk von den gesteinszerstörenden Kräften, »die wie eine Caries den Stein zerfressen«, ungleichmäßig angegriffen werden. Ist dann das Gestein in seinem Gefüge auf diese Weise gelockert und aufgearbeitet, so sorgen Schwere und atmosphärische Kräfte (Wind, Regen, Schnee) für die Fortschaffung des gelösten Bindemittels und der abgebröckelten Sandkörnchen. Die widerstandsfähigeren Partien werden dabei selbstverständlich langsamer zerstört; schließlich entsteht ein der Struktur und Zusammensetzung entsprechendes, manchmal ganz eigenartiges Relief.

Einen anschaulichen Beweis hierfür bietet uns das Mauerwerk alter Gebäulichkeiten¹⁾. Hier hat fast jeder Mauerstein wegen seines verschiedenen Ursprungsortes seine eigene Oberflächenform: der eine sandet einfach ab, der andere ist stark zerfressen, wieder ein anderer hat Höcker oder auch Gruben von ganz ansehnlicher Breite und Tiefe, während der ursprünglich die Verbindung herstellende Mörtel jetzt vielfach als widerstandsfähigeres Material auf den Fugen zwischen den Steinen erhalten geblieben ist und wie ein Gitter über die rückwitternde Wandfläche herausragt. Wir haben also hier dieselbe Erscheinung, wie an einer mit Steingittern bedeckten Felswand, wo ebenfalls die als Scheidewände erhalten gebliebenen Rippen aus widerstandsfähigerem Material bestehen müssen. Einzelne Mauersteine geben dieses Bild im kleinen wieder und beweisen, daß dieses manchmal geradezu zierliche Maschenwerk, wie es z. B. am Bergfrit der Burgruine Trifels in der Pfalz oder in

¹⁾ Vgl. hierzu den Aufsatz von H. WAGNER, »Über Verwitterung und Erhaltung der Bausteine«, in welchem auch die einschlägige Literatur in weitestgehendem Maße berücksichtigt ist. Der Steinbruch, 1913, Bd. VIII, S. 558ff. — Instruktive Verwitterungsformen an Gebäuden gibt HIRSCHWALD an mehreren Stellen seines grundlegenden Werkes.

weniger regelmäßiger Ausbildung an der Burg Zwingenberg am Neckar, am Steinsberg bei Sinsheim u. a. O. auftritt, erst innerhalb der letzten Jahrhunderte unter dem Einfluß von heute noch wirkenden Kräften entstanden sein kann¹⁾.

Das Gestein, das solch regelmäßige gitterförmige Gebilde zeigt, muß also gleiche Strukturverhältnisse, gleiche chemische und mineralogische Beschaffenheit und eine gleiche Verteilung des Bindemittels besitzen: diese Eigenschaften sind für die Entstehung der Gitter Voraussetzung. Nur unter solchen Verhältnissen können nach Zerstörung der weniger widerstandsfähigen Bestandteile regelmäßige, neben- und untereinander angeordnete Hohlräume sich herausbilden. Aber auch das wird nur bei konkordanter Schichtung möglich sein, da diskordante Schichtung notwendigerweise zur Verzerrung, also zur Herausbildung mehr netzartiger Formen führen muß.

Das Vorkommen von Steingittern und ähnlichen, wenn auch nicht ganz so regelmäßigen Reliefformen, z. B. Lochbildungen, die dem Gestein ein zerfressenes, oft sogar schwammartiges Aussehen verleihen, werden aus allen Teilen der Erde beschrieben, sowohl aus den Trockengebieten von Asien, Afrika und Amerika, wie auch aus Europa mit seinem humiden Klima. Lange war man auf Grund der Wüstenstudien von J. WALTHER und anderer (BRUNHES, CHUDEAU, FOUREAU, FUTTERER, IWTSCHENKO, PASSARGE, PENCK, RICHTHOFEN usw.)²⁾ geneigt, solche im humiden Klima, z. B. in einigen Teilen Deutschlands auftretende Formen wegen ihrer auffallenden Ähnlichkeit mit gleichen Erscheinungen im ariden Klima auch auf die Tätigkeit des Windes (Deflation und Corrasion³⁾) zurückzuführen.

Daß der Tätigkeit des Windes bei Herausbildung dieser Formen in Trockengebieten ein hervorragender Anteil zukommt, kann als feststehend angenommen werden; dort wirkt der Wind mittels des mitgeführten Materials geradezu wie ein Sandgebläse und nagt oft in die nackten Felswände ein ganzes Gitterwerk zelliger Vertiefungen ein. Die Form derselben wird aber stets von der Gesteinsbeschaffenheit abhängig sein; auch die speziellen klimatischen Verhältnisse des betr. Gebietes besitzen sicher eine gewisse Bedeutung.

Wenn uns solche aus Wüstengebieten beschriebene Formen auch im humiden Klima entgegentreten, liegt wegen der über dieses Phänomen vorliegenden zahlreichen Schilderungen zunächst die Versuchung nahe, auch ihre Entstehung auf die Tätigkeit des Windes zurückzuführen. Tatsächlich sind auch in der Literatur zahlreiche Angaben in diesem

1) Vgl. hierzu HÄBERLE, Über die Meßbarkeit der Fortschritte der Verwitterung. Jahresber. u. Mitt. d. Oberrhein. Geolog. Ver. 1911, N. F. Bd. I, H. 2, S. 53 bis 54.

2) Nähere Literaturangaben bei KAYSER, RÜHL, SÖLCH, SUPAN, WALTHER usw.

3) Vgl. hierzu: GREGORY, J. W., The terms »Denudation«, »Erosion«, »Corrosion« and »Corrasion«. Geogr. Journal 1911, XXXVII, S. 189—195.

Sinne vorhanden. Mit Recht hat sich aber in den letzten Jahren gegen diese Anschauung eine gewisse Reaktion geltend gemacht, und auch KESSLER hat, wie oben erwähnt, darauf hingewiesen, daß das in zahlreichen Werken reproduzierte Steingitter auf dem Sandstein von Arizona ebensogut die Abbildung irgendeines Wabensandsteins aus dem Buntsandstein Südwestdeutschlands sein könne. Hier ist aber, wie wir später sehen werden, eine Mitwirkung des Windes bei Herausbildung derartiger Formen fast ganz ausgeschlossen: sie sind mit wenigen Ausnahmen die Produkte der normalen Verwitterung. Windrichtung und Verwitterung führen also, obwohl bei der ersteren die mechanische, bei der letzteren die chemische Wirkung vorherrscht, schließlich zu Endzuständen, die in ihrem Charakter nur wenig oder gar nicht voneinander abweichen; die Gitterbildung ist also nicht immer das spezielle Erzeugnis eines ariden Klimas.

Trotzdem ist es aber nicht ausgeschlossen, daß auch im humiden Klima unter bestimmten Umständen der Wind seine zerstörende Kraft entfalten kann. Eine solche hat z. B. R. BECK an den Schrammsteinen in der Sächsischen Schweiz nachgewiesen (S. 546), aber dabei an der Hand von Abbildungen auch ausdrücklich hervorgehoben, daß der Wind gegenüber der normalen Verwitterung eine sehr untergeordnete Rolle spielt und seine Tätigkeit wesentlich in einer oberflächlichen Korrasion besteht.

Auch E. DE MARTONNE¹⁾ reproduziert eine Partie aus den Ruinen von Beaux (Provence), wo unter dem Einfluß des Mistral gitterförmige Gebilde herausgearbeitet worden sind, die denen in der Wüste gleichen.

»Von einer Deflation im großen«, schließt R. BECK seine Ausführungen, »wie sie uns JOHANNES WALTHER in seiner anschaulichen Schilderung der Wüsten kennen gelehrt hat, kann in unserem Waldgebirge trotz seiner vielen nackten Felsmassen und trotz der sehr leichten Zerstörbarkeit des Sandsteines nicht die Rede sein.«

Wenn aber sonst von dem Vorkommen gitterförmiger, zelliger oder löcheriger Gebilde auf Gesteinsoberflächen berichtet wird, so kann mit großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß ihre Entstehung in erster Linie auf Verwitterung (selektive Verwitterung im Sinne von W. SALOMON) zurückzuführen ist. Allerdings können Vertiefungen auch auf andere Weise entstehen, z. B. Herauswittern von Geröllen²⁾, Dolomit- und Karneolknauern, Konkretionen, Tongallen, Scheinkristallen

1) E. DE MARTONNE, *Traité de Géographie physique*. 2. Aufl., S. 663, Taf. XXXII. B. Paris 1913.

2) Nach FUTTERER tritt in den zentralasiatischen Wüsten die löcherige Auswitterung am großartigsten in Konglomeraten auf. *Geogr. Zeitschr.* 1902, Bd. VIII, S. 265. — Rundliche Löcher entstehen im oberen Buntsandstein durch Herauswittern von kalkig gebundenen Konkretionen, Dolomit- und Karneolknauern. O. REIS in den *Erl. z. Bl. Zweibrücken der geogn. Karte v. Bayern*, S. 159, Fußnote.

(sog. Pseudomorphosen) oder durch die Tätigkeit der Organismen. Daß Pflanzen (Flechten usw.) in der Gesteinsoberfläche durch Ausscheiden von Kohlensäure, Humusverbindungen usw. an ihren Ansatzstellen kleine Gruben bewirken und dem Gestein ein schwammartig zerfressenes Aussehen verleihen können, habe ich oft beobachtet¹⁾. Hier wäre namentlich die Nabelflechte (*Umbilicaria pustulata*) zu nennen, die auf dem Buntsandstein des Pfälzerwaldes, der Vogesen, des Schwarzwaldes usw. ihre zerstörende Tätigkeit entfaltet und ähnliche Oberflächenformen hervorruft, wie sie Graf VON LEININGEN (S. 202) von der *Verrucaria marmorea* Scop. auf dem Nummulitenkalk von Nago abbildet; eine regelmäßig gitterförmige Verwitterung wird aber im allgemeinen weder durch Herauswittern von Geröllen noch durch die Tätigkeit der Organismen erzeugt werden können.

Nachrichten über das Vorkommen von gitterförmiger Verwitterung des Sandsteins im humiden Klima liegen aus den verschiedensten Gegenden und Formationen vor, so z. B. aus dem Quadersandstein des sächsisch-böhmischen Kreidegebietes, dem Buntsandstein des Pfälzerwaldes und der Sandsteinvogesen, dem tertiären Molassesandstein am Überlinger (Boden-)see usw. Weitere diesbezügliche Mitteilungen habe ich erhalten von Herrn A. LEPPLA (Buntsandstein zwischen Merzig und Saarburg), von Herrn A. HETTNER (Kreidesandstein der westlichen Randhöhen der Hochebene von Bogota) und von Herrn A. RATZEL (Schilfsandstein des mittleren Keuper als Baumaterial der Burg Steinsberg bei Sinsheim). Im Sandstein des Rotliegenden dagegen scheinen nach meinen Beobachtungen solche Bildungen vollständig zu fehlen. Ja sogar von Steingittern aus dem Gneis des Wiesetales im südlichen Schwarzwald berichtet B. BRANDT: »Wenn der Gneis stark differenziert und sehr fein gefaltet und durcheinander geknetet ist, so entstehen, indem die basischen Bestandteile rascher verwittern, an der Oberfläche mannigfaltig geformte Leisten der sauren Mineralien, die bisweilen steingitterartiges Aussehen haben und den Korrasionsformen des Windes täuschend ähnlich sind (Poche bei Todtnau)²⁾.« Von ähnlichen Erscheinungen am Gneis berichtet auch CLOOS³⁾ aus Deutsch-Südwestafrika; er sieht die Hauptursache der Wabenverwitterung in dem Umstande, daß die Verschiedenartigkeit der sich leicht trennenden Gesteinskomponenten der Verwitterung durch Hitze und Frost sehr entgegenkommt. Aus den Ausführungen von BRANDT geht jedoch hervor, daß auch im humiden Klima durch reguläre Verwitterung solche Steingitter entstehen können; auf die Tafoni-Verwitterung der Granite auf Korsika sei hier nur kurz

¹⁾ Vgl. hierzu z. B. auch ECKERT, M., Über die Erosion der Pflanzen in den Kalkgebirgen. Abhandl. der Naturf. Ges. zu Görlitz. XXII. 1898.

²⁾ B. BRANDT, Studien zur Talgeschichte der Großen Wiese im Schwarzwald. S. 3. Abhandl. z. bad. Landeskunde, Heft 3. Karlsruhe 1914.

³⁾ CLOOS, Wind und Wüste im Deutschen Namalande. N. Jahrb. f. Mineralogie usw. 1911, Beilageband XXXII, S. 63.

verwiesen¹⁾. Neuerdings hat B. HÖGBOM aus Siam, also aus einem humiden Klima, Verwitterungsformen auf Granit, Kalkstein und besonders auf Sandstein vorkommend beschrieben, die den in der Wüste auftretenden gleichen²⁾.

Auf zellig-löcherige Verwitterungserscheinungen in den Tuffwänden des Mavenzi (Kilimandscharo), die der Schichtung der Tuffe entsprechend, auch gitterförmig ausgebildet sind, machte mich Herr Dr. KLUTE-Heidelberg aufmerksam; sie liegen in der ariden Zone in etwa 4500 m Höhe. Auf diese und ähnliche Erscheinungen, die an »Wüstenformen« erinnern, beabsichtigt Herr Dr. KLUTE später einzugehen.

Von den einzelnen Autoren werden für die Entstehung der gitterförmigen Verwitterungsformen des Sandsteins ganz verschiedene Ursachen angegeben: Tätigkeit des Windes, Einfluß des das Gestein durchsetzenden Sickerwassers, oberflächlich ab rinnendes Wasser, chemische Verwitterung, mechanische Verwitterung usw. Es dürfte deshalb von Interesse sein, die in neuerer Zeit darüber aufgestellten Hypothesen im Zusammenhang zu erörtern.

Tätigkeit des Windes.

Bereits oben wurde darauf hingewiesen, daß der Tätigkeit des Windes bei Herausbildung gitterförmiger Verwitterungsformen im humiden Klima nur eine ganz beschränkte Bedeutung beizumessen ist; die von BECK, FUTTERER, E. DE MARTONNE u. a. erwähnten Fälle sind gewissermaßen als Ausnahmen zu betrachten.

Neuerdings hat OBST (S. 98ff.) für die Entstehung der oft beschriebenen zierlichen Steingitter des schlesisch-böhmischen Quadersandsteins wieder die Tätigkeit des Windes in der Diluvialzeit zur Erklärung herangezogen, indem er sich auf ihre äußerliche Ähnlichkeit mit den Wüstenformen stützt; er ist demnach gezwungen, ein früheres Wüstenklima in jenen Gegenden anzunehmen³⁾. An seine Ausführungen hat sich in der »Geographischen Zeitschrift« eine längere Diskussion geknüpft, an der sich HETTNER, OBST und PASSARGE beteiligten und auf die hier nur verwiesen werden kann (Bd. XVI, 1910, S. 690—694; Bd. XVII, 1911, S. 337—342 und 578—580). Es kann nicht gut angenommen werden, daß sich die von ihm beschriebenen Kleinformen aus dem für ihre Entstehung vorausgesetzten Wüstenklima der Diluvialzeit bis jetzt als Relikte erhalten haben sollten. Man braucht sich nur an der Hand der Untersuchungen von KAISER und HIRSCHWALD

1) Vgl. darüber PENCK, Morphologie der Erdoberfläche, Bd. I, S. 214. — S. GÜNTHER, Wackelsteine, S. 14—15. — G. GREIM, Corsica. Geograph. Zeitschrift XXI, 1915, S. 254, Taf. VI, Abb. 1 u. 3.

2) HÖGBOM, Contributions to the Geology and Morphology of Siam. Bull. of the Geol. Inst. of Upsala, 1913, Vol. XII, S. 118—119.

3) Auf dieselbe Ursache führt auch V. SCHULZ die Entstehung der Wadi-ähnlichen Trockentäler im Buntsandstein zurück. Vgl. Fußnote 1 auf S. 266.

an die Verwitterungserscheinungen an unseren modernen Bauten oder an das zierliche Maschenwerk an dem Mauerwerk der Burgruinen, die innerhalb einer verhältnismäßig kurzen Zeit entstanden sind, zu erinnern, um sich von der geringen Wahrscheinlichkeit dieser Auffassung zu überzeugen. OBST blieb deshalb mit seinem Erklärungsversuch, der sich hauptsächlich gegen die HETTNERsche Sickerwassertheorie wendete, ziemlich allein.

Einfluß des Sickerwassers.

Schon im Jahre 1887 und auch noch später hatte nämlich A. HETTNER in seinen Arbeiten über die Sächsische Schweiz mehrfach darauf hingewiesen, daß die dort auftretenden Kleinformen der Verwitterung nicht als Gebilde eines trockenen Klimas, dessen Spuren man dann ja auch im Mittelgebirge noch finden müßte, sondern lediglich als das Produkt von noch heute tätigen Kräften zu betrachten sind. Er vertritt die Ansicht, daß die Vertiefungen in dem Maschenwerk als Austrittsstellen des Sickerwassers zwischen widerstandsfähigeren Gesteinspartien aufzufassen sind, das dort auflösend wirkt und damit unter dem Einfluß der regulären Verwitterung die Hohlräume zwischen den stehengebliebenen Scheidewänden schafft.

Oberflächlich abrinnendes Wasser.

Ob an den Felswänden herabrinnendes Wasser gitterartige Formen erzeugen kann, erscheint mir zweifelhaft. Es treten zwar im Quadersandstein auf geneigten Flächen, wie ich mich selbst überzeugte, karrenfeldähnliche Gebilde auf, die aber, wie schon HETTNER (S. 293) ausdrücklich hervorhebt, nicht der chemischen, sondern mechanischen Tätigkeit des spülenden Wassers, dessen Wege durch gröbere Quarzkörner bedingt gewesen sein müßten, ihre Entstehung verdanken. Zu einer Erklärung der Steingitter hat er aber diese Kannelierung nicht herangezogen, und zwar mit vollem Rechte. Die Grundform aller Spül- und Erosionsgebilde ist bekanntlich die nach oben verzweigte Rinne, die allerdings in der Natur je nach der Gesteinsbeschaffenheit mancherlei Abänderung erfahren kann. Die auf geneigten Kalksteinflächen durch ablaufendes Wasser entstehenden rinnen- und löcherartigen Vertiefungen und Kannelierungen sind ja bekannt; auf schiefen Ebenen sind sie vielfach parallel angeordnet, bei spitzen Blöcken strahlen Rillen nach allen Seiten aus¹⁾. Hier wirken die mechanisch und chemisch zerstörenden Kräfte zusammen, da das abrinnende Wasser vermöge seines Kohlensäuregehaltes auch lösend wirkt. Das uns an steilen Wandflächen des Sandsteins entgegentretende Bild ist aber wesentlich anders: hier haben wir ein leistenartiges Maschenwerk im Hochrelief. Eine solche Oberflächenform mit ihren herauspräparierten und meist durch netzartige Leisten

¹⁾ Hier wären auch die Furchensteine zu nennen, mit denen sich K. ANDRÉE neuerdings beschäftigt und die einschlägige Literatur angegeben hat. Beiträge zur Geologie von Canada, S. 428—431.

als Umrandung vertiefter Partien verbundenen Gesteinsteilen entspricht also nicht derjenigen, welche durch die spülende Wirkung des Wassers hervorgerufen wird, sondern bietet ein gänzlich verschiedenes Bild dar: es fehlen ihr die verbindenden Querleisten.

Einfluß der Infiltration.

Als ich mich im Jahre 1910 mit den im Buntsandsteingebiet des südlichen Pfälzerwaldes auftretenden, ganz eigentümlichen Felsbildungen befaßte, kam ich zu dem Ergebnis, daß für die Entstehung dieser Großformen der Verwitterung wohl auch die Durchlässigkeit des Gesteins in Verbindung mit starker Zerklüftung, wie dies A. HETTNER für ähnliche Erscheinungen in der Sächsischen Schweiz angenommen hat, am ehesten zur Erklärung herangezogen werden könne. Daß bei meinen zahlreichen Begehungen des Felsenlandes der Dahner Gegend auch die dort auftretenden vielgestaltigen Kleinverwitterungsformen mein Interesse erwecken mußten, ist selbstverständlich. Zunächst sei vorausgeschickt, daß sich diese Gebilde dort fast in allen Horizonten des mittleren oder Hauptbuntsandsteins beobachten lassen; namentlich pflegen sie da aufzutreten, wo gegen die Verwitterung widerstandsfähigere Felszonen vorkommen, die sich dann in der Form von Steilwänden und steil abfallenden Bastionen am Gehänge oder auch als Felsgrate, Türme, Nadeln usw. auf Bergrücken bemerkbar machen. Als gemeinsames Merkmal muß aber hervorgehoben werden, daß die eigenartigen gitterförmigen Bildungen im frischen Zustande meistens auf der Süd- und Südostseite und nicht, wie man eigentlich vermuten sollte, auf der Wetterseite (Südwestseite) der Felswände, aber nicht an isolierten Türmen gefunden werden.

Vergegenwärtigen wir uns zunächst einmal das Aussehen einer Steilwand im Buntsandstein des Pfälzerwaldes¹⁾. Von weitem gesehen, sieht sie fast ebenflächig aus. Betrachten wir sie aber aus der Nähe, so ergibt sich, daß ihre Oberfläche rauh und vielfach mit narbigen Vertiefungen bedeckt ist und jede einzelne Schicht ihre eigene Verwitterungsform zeigt. Die eine tritt ohne scharfe Kante als stirnartig vorspringender Sims oder auch nur als Leiste, die andere als Hohlkehle, wieder eine andere als löcheriger Streifen in Erscheinung. Dazwischen sind dünnplattige, vielfach tonige Bänke von meist geringer Mächtigkeit eingeschaltet, die durch ihr Abblättern und raschere Verwitterung als deutliche Einschnürungen sich bemerkbar machen. An den Schichtfugen

1) Vgl. auch die Schilderungen der elsässischen Geologen z. B. von E. W. BENECKE, Erl. z. Bl. Lembach, S. 25—26; E. SCHUMACHER, Erl. z. Bl. Bitsch, S. 9 und z. Bl. Roppweiler; L. VAN WERVEKE, Erl. z. Bl. Stürzelbronn S. 13 und Bl. Niederbronn, S. 16; H. BÜCKING in: Das Reichsland Elsaß-Lothringen, Bd. I, S. 38; Geologischer Führer durch das Elsaß S. 97. Ferner von A. LEPPLA, Über den Buntsandstein im Haardtgebirge S. 49 und O. M. REIS, Erl. z. Bl. Zweibrücken S. 154 u. 159.

entlang ziehen Reihen von Löchern, Nischen und höhlenförmigen Vertiefungen, zwischen denen hier und da sanduhrförmige Pfeiler erhalten geblieben sind, so daß oft zierliche Säulengänge entstehen können: Gleich daneben oder darüber kommen rundzellige, napf- und hohlkugelförmige Auswitterungen vor. Manchmal sind diese Löcher und Höhlungen so dicht gruppiert, daß die Oberfläche des Gesteins ein geradezu zerfressenes bzw. schwammartiges Aussehen erhält. Bei regelmäßiger Anordnung der Vertiefungen bzw. des sie begrenzenden erhabenen Leistenwerkes und bei konkordanter Schichtung können bald gitter- und »bienenwaben«-ähnliche¹⁾, bei diskordanter Schichtung dagegen mehr netzartige Auswitterungen entstehen. Diese werden mitunter so zierlich, daß die Oberfläche geradezu von einer Filigranarbeit oder einem Spitzen- und Teppichmuster überzogen erscheint. An der Unterfläche von vorspringenden Bänken treten vielfach Aushöhlungen von unregelmäßiger Gestalt auf, die das Gestein nach den verschiedensten Richtungen durchsetzen und ihm ein zerfressenes oder schlackenartiges Aussehen verleihen. Wenn einzelne dünne Lagen sich nur wenig übereinander verschieben, so entstehen blättereigartige Skulpturen. Dringen dagegen mehr äquidimensional entwickelte Hohlräume unregelmäßig in eine bestimmte Lage ein, während die untere Schicht abwittert, so entstehen merkwürdige zellige Verwitterungsformen (vgl. Tafel XII, Abb. 1).

An anderen Schichten von sandig-toniger Beschaffenheit arbeitet die Verwitterung in ganz intensiver Weise²⁾; die einzelnen Quarzkörnchen bröckeln ab und rieseln als Sand zu Boden, wo sie sich als Fußhang und schützender Mantel an der Felswand anhäufen. Bei diesem Prozeß treten einzelne Partien mit glatter Oberfläche oder auch in schwacher Wölbung über die Wandfläche heraus. Andere Stellen zeigen eine braunrote, vielfach von Öffnungen durchbrochene Kruste, hinter welcher an einzelnen Stellen die Verwitterung arbeitet, Hohlräume schafft und allmählich die ihrer Unterlage beraubte, oft nur blatt dünne Decke auflockert und schließlich abgleiten läßt. Schräg nach hinten geneigte Wandflächen tragen vielfach auch zapfenförmige, nach unten gerichtete Fortsätze, die an Stalaktiten oder auch, bei mehr traubenförmiger Ausbildung, an Zitzen erinnern.

Absichtlich habe ich diese mannigfaltigen Verwitterungsformen im

¹⁾ Den vielfach sonst angewendeten Ausdruck »wabenförmig« möchte ich vermeiden, da die durch Verwitterung entstandenen Zellen nicht hexagonal wie bei einer Bienenwabe, sondern, wenn überhaupt regelmäßig, mehr rhombisch ausgebildet sind und sich deshalb besser mit den Maschen eines Netzes oder mit einem Spitzen-, Teppich- oder Filigranmuster, weniger mit einem Steingitter vergleichen lassen.

²⁾ LOZINSKI hat bereits (S. 3) darauf hingewiesen, daß »bei weniger widerstandsfähigen, insbesondere eisenschüssigen Sandsteinen der Zerfall sehr rasch vor sich geht . . . Bei unvollkommener Kornbindung genügt schon ein geringer Gehalt an Eisenverbindungen, um durch Oxydation einen raschen Zerfall der Sandsteine in Sand zu bewirken. Dadurch tritt aber an Stelle der mechanischen die chemische Verwitterung ein.«

einzelnen geschildert, um ihre so ganz verschiedene Ausbildung hervorzuheben. Ähnliche Verhältnisse haben wir auch im Elbsandsteingebirge, nur daß dort nach meinen Beobachtungen in dem vielfach weniger fest gebundenen Gestein die Formen nicht immer so scharf ausgeprägt sind¹⁾.

So verschieden nun die vorstehend beschriebenen und oft in ein und derselben Schicht sogar nebeneinander auftretenden Verwitterungsformen auch sein mögen, so muß aber doch hervorgehoben werden, daß nach meinen Beobachtungen, und wie dies PETRASCHECK S. 619 auch für den Quadersandstein festgestellt hat, diese recht verschiedenen Erscheinungen auch einander ablösen können. Wiederholt habe ich auf jetzt mit einer Verwitterungsrinde oder mit ganz dunklen, ja sog. schwarzen Mangan- und Eisenausscheidungen bedeckten Wandflächen die Reste ehemaliger Pfeiler und umgekehrt an jetzt sandig verwitternden Wänden hier und da Spuren von Vertiefungen, Rippen oder auch von einer früher zusammenhängenden Rinde festgestellt. Diese oft hintereinander an derselben Wand und auf engbegrenzten Flächen auch nebeneinander auftretenden Verwitterungserscheinungen belehren uns, daß nicht allein in den übereinander gelagerten Schichten, trotz ihrer anscheinend gleichen Beschaffenheit, sondern auch in benachbarten Partien ein und derselben Schicht gewisse, in der petrographischen Ausbildung begründete Abweichungen in der Widerstandsfähigkeit gegen die gesteinszerstörenden Kräfte vorhanden sein müssen, die erst bei der Verwitterung in Erscheinung treten. Als solche führt HIRSCHWALD (S. 661) auf: Verschiedenheit der Porosität und Festigkeit, ungleiche Ausbildung der Parallelstruktur bzw. Schieferung, Verschiedenheit der Korngröße wie des Gehaltes und der substantiellen Beschaffenheit des Bindemittels oder der Nebenbestandteile usw. Durch die Gesteinsbeschaffenheit wird also die Form der Verwitterung bestimmt: »je einheitlicher die Zusammensetzung des Gesteins ist, um so entschiedener wird auch der geometrische Charakter der Verwitterungsfläche sein Recht geltend machen« (S. GÜNTHER).

Ich habe viele dieser gitter- bzw. netzförmigen Gebilde im Buntsandsteingebiet des Pfälzerwaldes untersucht und gefunden, daß der auf Schaffung derartiger Hohlräume gerichtete Zerstörungsprozeß seinen Ausgang von Schichtfugen nimmt²⁾ (vgl. Tafel XII, Abb. 2) und daß die gitterförmige Verwitterung an konkordante Schichtung gebunden ist, die mehr maschig-netzförmige Verwitterung dagegen bei diskordanter

¹⁾ Vgl. hierzu BECK, Erläuterungen zu Bl. Königstein S. 20 und zu Blatt Sebnitz S. 25—26 und: Die korrodierende Tätigkeit des Windes S. 542; GUTBIER, Geognostische Skizzen aus der Sächsischen Schweiz, S. 93ff. Leipzig 1858; HETNER, Die Felsbildungen der Sächsischen Schweiz S. 613 und: Die Sächsische Schweiz S. 293 (49); OBST, Schlesisch-Böhmische Kreideablagerungen S. 30, 82, 92ff.; PETRASCHECK, Adersbach-Weckelsdorf S. 616; SCHALCH, Erläuterungen zu Bl. Rosenthal-Hoher Schneeberg S. 43—45.

²⁾ Auch OBST betont mit Recht (S. 94), daß »auf jeden Fall die intensivste Zerstörung an den Schichtenfugen einsetzen muß, gleich ob Sickerwasser, Spaltenfrost oder Windkorrasion die modellierenden Kräfte sind.«

Schichtung aufzutreten pflegt. Daneben habe ich aber auch an der Stirnseite überhängender, stark verkieselter Bänke, wie sie namentlich in den oberen Lagen des Hauptbuntsandsteins (Karlstal- oder Trippstadt-schichten) vorkommen, unter einem graugrünen Teppich von niederen pflanzlichen Organismen an einzelnen konkordant geschichteten Partien sehr regelmäßige gitterförmige Verwitterungsformen beobachtet, die den Eindruck erwecken, als ob sie sich jetzt gewissermaßen in einem Ruhestadium befänden, d. h. daß bei ihrer Herausbildung andere Kräfte tätig gewesen sein müßten, als heute. Wenn auch die Hohlräume zwischen den einzelnen Scheidewänden und letztere selbst einen die Unterlage allmählich zerstörenden Pflanzenüberzug besitzen, so war letzterer doch wohl kaum imstande, von Anfang an solch regelmäßige Formen herauszuarbeiten. Ich halte es daher für nicht ganz ausgeschlossen, daß wir in den jetzt mit einer Pflanzendecke überzogenen, gewissermaßen in einem Ruhestadium befindlichen gitterförmigen Verwitterungserscheinungen der widerstandsfähigeren Bänke vielleicht doch die Anzeichen einer früher unter anderen klimatischen Verhältnissen intensiver wirkenden Verwitterungstätigkeit erblicken können.

Weiter wäre zu bemerken, daß an isolierten Felstürmen frische Verwitterungsformen meist fehlen, während ältere verwaschene fast allenthalben zu beobachten sind. Auch hier herrscht ein gewisses Ruhestadium, das vielleicht darauf zurückzuführen ist, daß diese einzelnen Felsmassen zu wenig, die Verwitterung von innen heraus begünstigende Niederschläge in sich aufzunehmen vermögen.

Die Entstehung der vielgestaltigen Kleinverwitterungsformen, wie sie sich in seltener Schönheit namentlich in den leicht zerreiblichen, grobkörnigen und grobporigen, sandig-tonigen Zwischenlagen der Karlstalschichten (Altes Schloß bei Eppenbrunn) vor unseren Augen herausbilden, habe ich mir folgendermaßen zu erklären versucht: Die vermöge der Kapillarität von oben eingedrungenen und dann im Gestein zirkulierenden Gewässer bevorzugen bei ihrem Versinken gewisse Bahnen, deren Richtung und Verlauf durch die Schichtung, die Wasserundurchlässigkeit, die Korngröße, die Anordnung der Gesteinsporen und die Festigkeit des Bindemittels bestimmt wird. Die vadosen Wasser durchtränken von oben her das Gestein und vollziehen dabei die verschiedensten mineralchemischen Prozesse¹⁾; sie vermindern zunächst die Bindefestigkeit,

¹⁾ Mit Recht hebt E. KAISER (S. 16) hervor, daß die Diffusion und Bewegung wässriger Lösung von besonderer Bedeutung ist, weil hierbei besondere Fällungen und Umsetzungen eintreten. Die Lösungen können bei ihrer Diffusion aufeinander einwirken oder bei dem Angriff auf einzelne Gesteinsbestandteile, vor allem auf das Bindemittel, Umtausch und Fällungen bedingen; es kommt dann zu rhythmischen Fällungen in den Gesteinen. Zur Erklärung vieler Wanderungen braucht man sich aber nach R. LIESEGANG »nicht auf das Wasser als Lösemittel allein zu beschränken«. Vgl. R. E. LIESEGANG, Geologische Diffusionen, S. 73. Dresden 1913 und V. GOLDSCHMIDT, Über Erosion und Lösung. Bulletin de l'Acad. Impér. des Sciences de St. Petersburg 1914, S. 339—356, Taf. I u. II.

schlänmen die Bindemittelsubstanz je nach ihrer größeren oder geringeren Widerstandsfähigkeit an einzelnen Punkten aus und scheiden sie an anderen Stellen wieder ab. Infolgedessen wird sich an verschiedenen Punkten und in verschiedenen Horizonten unter anderen Verhältnissen auch die Ausscheidung in verschiedener Weise abspielen.

Dadurch entstehen strukturelle Verschiedenheiten, die namentlich auf den Schichtfugen, wo sich das nach der Tiefe und nach außen strebende Sickerwasser auf den meist tonigen Zwischenlagen gewöhnlich etwas staut, besonders in Erscheinung treten werden; tatsächlich haben wir auch die Schichtfugen als gewöhnliche Ausgangspunkte der Verwitterungserscheinungen kennengelernt. Der Verlauf dieses Prozesses ist so zu denken, daß einzelne Partien, in denen mehr oder weniger eine Auflösung des Bindemittels stattgefunden hat, wegen der gelockerten Kornbindung leichter verwittern, während andere, wo die gelösten Bestandteile wieder zur Ausscheidung gelangten, eine größere Widerstandsfähigkeit erhalten haben und daher langsamer den Angriffen der Atmosphärien erliegen. Durchsetzen nun die Sickerbahnen das Gestein je nach seiner größeren oder geringeren Wasserdurchlässigkeit nach bestimmten Richtungen, so wird deren Verlauf durch die Verwitterung sukzessive freigelegt werden müssen, wobei zunächst unentschieden bleiben soll, ob dies in der Form von ausgewitterten Streifen oder stehengebliebenen Rippen geschieht. Da aber bei der netz- oder gitterförmigen Verwitterung die stehengebliebenen Scheidewände, wie bereits erwähnt, durch Querleisten miteinander in Verbindung stehen, während das davon umschlossene Material wegen seiner unvollkommenen Kornbindung herausgewittert ist, so haben wir in der Voraussetzung, daß eine Infiltration von oben stattgefunden hat, in diesen widerstandsfähigeren und deshalb herausgewitterten Leisten und Adern den Weg des Sickerwassers zu sehen¹). (Vgl. Taf. XIII, Abb. 3). Da sich dessen Kanäle oft nach Art eines Flußsystems nach oben baumartig verzweigen, wäre eine derartige Gabelung auch bei aufsteigender Lösung denkbar. Da aber erfahrungsgemäß die Schichtfugen meistens von tonigen Lagen begleitet sind, ist ein Auftrieb von unten durch diese Lagen in solch regelmäßigen Intervallen nicht gut denkbar; dagegen spricht auch die vielfach von mir beobachtete Verdickung der Scheidewände über den Schichtfugen.

Wir können also wohl annehmen, daß das nach unten einsickernde Wasser das Gestein, in welchem diese Verwitterungsform auftritt, im Verlauf seiner vielen verzweigten Bahnen imprägniert, an anderen

¹) Zu einem ähnlichen Ergebnis kam auch PETRASCHECK (S. 619), der in den Steinbrüchen in der Alten Poste bei Pirna an den weißen Quadern in gelben eisen-schüssigen Bändern die Bahnen der Infiltration beobachten konnte; ihre Entstehung bringt er mit den Schwankungen des Grundwasserspiegels, ehe dieser infolge der Erosion auf die heutige Tiefe gebracht war, in Zusammenhang. — Vgl. auch BISCHOF, Lehrbuch der Geologie, Bd. III, S. 159, Bonn 1866.

Stellen dagegen mit lediglich sandiger Abwitterung das Bindemittel gelöst und fortgeführt hat; besondere strukturelle Verschiedenheiten wurden an diesen letzteren Punkten dadurch nicht bewirkt, so daß eine glatte Abwitterungsfläche entstehen konnte. Wurden plattenförmige Partien in vertikaler Richtung infiltriert, so wurden dadurch die Bedingungen für die Entstehung von Verwitterungsrinden geschaffen¹⁾. Konkretionäre Anhäufungen mußten höckerige oder traubenförmige Verwitterungsformen hervorrufen. Finden wir unregelmäßig-höckerige Auswitterung, so dürfen wir annehmen, daß die Versickerungsbahnen auf ihrem Wege nach der Tiefe regellos und in größeren Zwischenräumen verlaufen und dadurch rasch wechselnde Strukturunterschiede bewirken. Die dadurch hervorgerufene ungleiche Verteilung des Bindemittels mußte unregelmäßige Verwitterungsformen, gleichmäßige oder netzartige Verteilung, bedingt durch regelmäßige Anordnung der Bahnen, dagegen regelmäßige Verwitterungsformen erzeugen (vgl. Taf. XIII, Abb. 4).

Diesen makroskopischen Befund habe ich an Gesteinsschliffen, entnommen aus Rippen, Pfeilern usw. mit freundlicher Unterstützung von Herrn Prof. W. SALOMON mikroskopisch nachgeprüft. Im normalen Gestein befinden sich zwischen den klastischen Körnchen von Quarz und Quarzit zahlreiche Hohlräume. Das Gestein ist hochgradig porös und infiltrationsfähig. Wo ein Zement vorhanden ist, zeigt die graue oder weiße Farbe, daß Eisenverbindungen fehlen; nur an wenigen Stellen ist Limonit nachweisbar. In den anderen bei der Verwitterung herausgearbeiteten, also widerstandsfähigen Proben ist die Porosität sehr gering und die in dem erst untersuchten Gestein vorhandenen Hohlräume sind hier fast ganz von einem im Schliff meist undurchsichtig erscheinenden braunen Zement mit einem leichten Stich ins Rötliche erfüllt. Aus dieser Farbe darf man wohl schließen, daß es sich wesentlich um Limonit handelt, von dem es allerdings dahingestellt bleiben kann, ob er ursprünglich als Eisenkarbonat eingewandert ist. An manchen Stellen ist das Zement zwar nicht undurchsichtig, aber immerhin durch den Limonit schon stark gefärbt. Nur relativ selten ist auch in diesen Proben ein helles, ganz limonitfreies Zement nachweisbar. Da sich das Limonitzement den Korngrenzen gewöhnlich genau anschmiegt, so ist hier natürlich ein viel festeres Bindemittel der Körner vorhanden als in dem normalen Gestein. Die Wasserzirkulation wird stark gemindert sein und endlich dürfte diese Art der Bindung sich gegen die im Gestein zirkulierenden Sickerwässer auch chemisch als recht widerstandsfähig erweisen. Es hat somit zweifellos eine sekundäre Infiltration und Imprägnation

¹⁾ Deren Entstehung ist allerdings auch auf andere Weise denkbar, wie E. KAISER (S. 22) ausführt. »Die Austrocknung und die Diffusion, welche die Lösungen in dem Gestein bewegen, andererseits die Diffusion der von außen eindringenden Bestandteile, vor allem des Sauerstoffs, bewirken, daß in den äußeren Teilen relativ widerstandsfähige Neubildungen niedergeschlagen werden, die dort eine feste Kruste bilden.«

der jetzt durch die Verwitterung als Rippen, Leisten, Maschen usw. herauskulpierten Partien mit Eisenverbindungen stattgefunden. Und dieser Imprägnierung verdanken nach meiner Auffassung die betreffenden Gesteinspartien, gewissermaßen die fossilen Wege des Sickerwassers, ihre größere Widerstandsfähigkeit gegenüber den zerstörenden Agentien.

Auf die Ergebnisse meiner Untersuchungen hat dann A. RATHSBURG in seiner auf gründlichen Studien im Felde beruhenden Arbeit »Zur Morphologie des Heuscheuergebirges«, in welcher er sich vielfach gegen die Ausführungen von OBST wendet, Bezug genommen und seine Ergebnisse (S. 180—181) in folgenden Sätzen zusammen gefaßt: »Man kann kaum mehr daran zweifeln, daß es sich im Pfälzerwald um völlig entsprechende oder vielmehr um dieselben Groß- und Kleinformen handelt wie in der Sächsischen Schweiz und den schlesisch-böhmischen Kreidegebilden. Die für das eine dieser Gebiete zutreffende Erklärung muß daher auch für die andere gültig sein. Freilich wird der exakte Nachweis für die Übertragbarkeit von HÄBERLES Erklärungen auf die Sächsische Schweiz und die schlesisch-böhmischen Kreidegebilde noch durch die entsprechende mikroskopische Untersuchung der Kleinverwitterungsgebilde zu erbringen sein. Aber nach dem, was Verfasser in der Sächsischen Schweiz, Adersbach-Weckelsdorf und Heuscheuergebirge *in natura* gesehen und durch HÄBERLE an Abbildungen aus dem Pfälzerwald kennt, scheint es ihm nicht allzu gewagt, die HÄBERLESchen Deduktionen schon jetzt auch auf die anderen genannten Sandsteingebiete auszudehnen. Es wäre ein Leichtes, Abbildungen von Groß- und Kleinformen aus den vier Gebieten nebeneinanderzustellen, die ohne vorherige Kenntnis unmöglich verrietten, welchem der vier Gebiete sie entstammten. Bei vielen der Rippen, Leisten und Pfeiler ist auch in der Sächsischen Schweiz schon äußerlich ein größerer Eisengehalt erkennbar durch ihre gelbbraune Färbung. In manchen Rippen und besonders bei den ebenfalls in der Sächsischen Schweiz vertretenen zapfen- oder »zitzenförmigen« Gebilden sah ich deutlich Infiltrationskanäle¹⁾, von denen aus die Gesteinsfarbe von Tiefbraun über Gelbbraun und Gelb allmählich in das normale Gelbgrau des Sandsteins überging. Die Frage ist nur, inwieweit die Imprägnation mit Eisenverbindungen auch für solche Rippen und Pfeiler usw. angenommen werden darf, die äußerlich gar nichts daran erkennen lassen. Vielleicht oder wahrscheinlich wirken aber auch andere Infiltrationssubstanzen, wie z. B. sekundäre Kieselsäure zwischen den ursprünglichen Quarzkörnchen in gleicher Weise verhärtend. Wenn wir also zum Schluß die Frage beantworten sollen: Wie sind die löcherigen Verwitterungsgebilde und die Sanduhrpfeiler und Rippen dazwischen zu erklären?, so meinen wir: Für die Annahme [von OBST], daß es sich hier um Gebilde diluvialer Sandstürme handle, sind durchaus

¹⁾ Vgl. hierzu auch die von PETRASCHECK mitgeteilten Beobachtungen auf S. 277, Fußnote 1.

keine genügenden Beweise vorliegend, wohl aber ließ sich manches dagegen einwenden. Vielmehr sind die eigenartigen Kleinverwitterungsformen mit allen ihren Abarten zu erklären mit Hilfe der rezenten Verwitterung (womit nicht gesagt sein soll, daß nicht gelegentlich vielleicht auch ältere Formen erhalten sein können), auf Grund von HETTNER'S »Sickerwassertheorie«, erweitert durch HÄBERLE'S »Infiltrationstheorie«. Diese beiden Theorien ergänzen sich insofern, als HETTNER in erster Linie die Bildung der Höhlen und Löcher, HÄBERLE die Pfeiler und Rippen dazwischen erklärt, auch denkt wohl HETTNER mehr an die derzeitigen Sickerwasser, während man HÄBERLE'S »Infiltrationen« als fossiles Sickerwasser bezeichnen könnte. «

Diesen Ausführungen stimmt auch G. GÖTZINGER (S. 525) bei, indem er noch ergänzend hinzufügt: »Es wäre zu wünschen, daß diese eingehende mikroskopisch-petrographische Studie auch in den sächsisch-böhmischen Gebieten angestellt würde, für welche die Theorie HÄBERLE'S, wie es heute schon scheint, Anwendung hätte . . . Alle »Wüstenformen« des Heuscheuergebirges und des böhmisch-schlesischen Kreidegebietes sind also nicht Reliktenformen eines früheren Steppenklimas (auch W. PETRASCHECK hatte keine Anhaltspunkte für ein anderes Klima bei der Entstehung der Kleinverwitterungsformen), sondern zum größten Teil der heutigen Verwitterung und Abtragung, vornehmlich durch Wasserwirkung zuzuschreiben und im wesentlichen, wie HETTNER schon hervorgehoben hat, eine Funktion der petrographischen Beschaffenheit und der Durchlässigkeit des Quadersandsteins.«

Ähnliche Bildungen hat neuerdings GÖTZINGER¹⁾ auch aus dem Dolomit bei Risovac in Bosnien nahe der dalmatinischen Grenze beschrieben und darauf hingewiesen, daß der Hauptanteil an der Detailskulptur der chemischen Wirkung (Sicker- und Regenwasserwirkung, sowie durch Flechten und Moose) zukommt.

Mit Recht knüpft er daran die Bemerkung, daß ganz analoge Formen in verschiedenen Gesteinen durch das Vorwalten verschiedener Agentien verursacht werden und daß, wenn ähnliche Formen zum Detailformeninventar der Wüste gehören, es deshalb nicht zulässig ist, solche Formen überall auch in humiden Gebieten als Wüstenformen anzusprechen, sie dem gleichen Agens zuzuschreiben.

Mineralneubildungen als Ursachen der chemischen Verwitterung.

Zu anderen Resultaten kam O. BEYER, dessen Arbeit bald nach meiner erschien, die von ihm aber nicht mehr benutzt werden konnte.

1) G. GÖTZINGER, Eine Felsenstadt im Dolomit bei Risovac in Bosnien. Geographischer Anzeiger 1913, S. 125—127.

Er beschäftigte sich mit den an den Wänden des Quadersandsteins vorkommenden Alaunausblühungen, die »an überhängenden breiten Wandflächen, an den »hohlen Wänden«, unter nischen- und höhlenförmigen Überhängen, in Rissen und Klüften und namentlich in Verbindung mit den bekannten Kleinformen der Verwitterung (Steingitter, Wabenbildung, Höhlen- und Lochverwitterung), sowie stets an Wandstellen mit frischen Abwitterungsflächen auftreten und die auch dem ungeübten Auge durch ihre abweichende Färbung auffallen« (S. 439). »Bei aufmerksamer Betrachtung zeigen diese bekannten aber immer interessanten Kleinformen entweder sich als fertige, in ihrer Entwicklung abgeschlossene Bildungen, auf welche die gegenwärtigen Verwitterungskräfte scheinbar überhaupt nicht wirken — eine Auffassung, die namentlich durch OBST vertreten wird (S. 134, 183 u. a. a. O.) — oder als in frischer Entwicklung und Weiterbildung begriffen« (S. 441).

Ausblühungen¹⁾ und Stellen frischer Sandabwitterung sind stets räumlich gebunden an die Austrittsstellen der Schwitz- und Sickerwässer; es besteht also ein ursächliches Verhältnis. . . »Erfolgt der Austritt der Feuchtigkeit in der Flächenfront, so entwickelt sich die Flächenabwitterung, zieht er sich räumlich zusammen auf gewisse Punkte, veranlaßt durch örtliche Verhältnisse im Gestein, auf einzelne Sickerstellen, so entstehen Löcher und Gruben, die Anfänge der Wabenbildung, schreitet die chemisch wirkende Sickerlösung in horizontal gerichteten, durch widerstandsfähige Zwischenlagen (Gips) voneinander getrennten Bändern fort, so entwickeln sich die charakteristischen Steingitter« (S. 460); ihr Auftreten ist unabhängig von bestimmten Himmelsrichtungen oder von Wind und Wetter²⁾.

BEYER faßt seine eingehenden Untersuchungen in folgenden Sätzen (S. 465—466) zusammen: 1) Die Entwicklung der charakteristischen und bekannten Kleinformen im Quadersandstein der Sächsischen Schweiz, der Waben, Steingitter, Löcher und Höhlchen ist in erster Linie auf chemische Verwitterung zurückzuführen. Die mechanischen Kräfte — Temperaturwechsel, Spaltenfrost, Wasserausspülung, Windschliff und

1) Über Gips- und Salzausblühungen, Krusten- und Rindenbildungen hat neuerdings KREBS interessante Beobachtungen von den Tafelbergen östlich des Nils veröffentlicht. Vgl. a. a. O. S. 315—316.

2) Nach OBST (S. 99) treten im schlesisch-böhmischen Kreidegebiet die Kleinverwitterungsformen mit besonderer Schärfe an den nach Osten und Südosten gekehrten Wänden auf, wie das schon BECK S. 543 für einzelne Partien im sächsischen Quadersandstein angegeben hat. RATHSBURG hat sie im Heuscheuergebirge und in der Sächsischen Schweiz ebenso wie BEYER, nach allen Richtungen gefunden (S. 166), v. LOZINSKI (S. 9—10) dagegen festgestellt, daß in dem Quadersandstein der Heuscheuer und von Weckelsdorf die Bienenwabenstruktur und Steingitter immer nur bei südlicher oder höchstens südöstlicher Exposition auftreten, wie überhaupt in unseren Breiten auf die Südseite die mechanische Verwitterung am stärksten wirkt. Zu dem gleichen Ergebnis bin ich auch im Pfälzerwald gekommen.

Sandgebläse, auch postglazialer Zeiten — und die Vegetation wirken nur sekundär und unterstützend.

2) Diese chemischen Vorgänge sind an die in der Gegenwart zirkulierenden Gewässer gebunden, welche freie Schwefelsäure enthalten. Sie bestehen zunächst in der Zerstörung des Bindemittels im Sandstein durch Entziehung von Aluminium, Calcium und Kalium und in der Neubildung von Kali-Ammoniumalaun und Gips.

3) Die neugebildeten Stoffe werden durch das Lösungsmittel gegen die Außenflächen des Sandsteins geführt und hier infolge allmählicher Konzentration der Lösung durch Verdunstung ausgeschieden.

4) Die Auskristallisation zahlloser winziger Alaunoktaeder innerhalb des Sandsteins ist mit einer kräftigen Sprengwirkung verbunden, als deren Endergebnis der Auseinanderfall der Quarzkörner und die Bildung von alaunhaltigem Krümelsand anzusehen ist.

5) Der gebildete Gips imprägniert an den Außenflächen den ursprünglich porösen Sandstein und kittet als Zement die Quarzkörner fest zusammen. Er füllt ebenso Sickerrisse, Sickerlöcher und andere Sickerstellen aus, überrindet wulst- und krustenförmig seine Austrittsstellen und wirkt durch die dadurch gebildeten festen Rippen, Rinden und sonstigen Zementierungen konservierend für den Sandstein. Die Richtung dieses Schutzes geht zunächst gegen die von außen her wirkenden mechanischen Kräfte. Der Gips veranlaßt in bestimmten Fällen aber auch eine Änderung in der Bewegungsrichtung der zirkulierenden Lösungen und wirkt dann auch konservierend gegen die Zerstörung von innen heraus.

6) Die chemische Verwitterung kann erst zum Stillstand kommen, wenn in dem betr. Gesteinskörper der Schwefelsäurevorrat und die zu den Neubildungen benötigten Bestandteile des Bindemittels aufgebraucht sind. «

Da die Arbeit von BEYER bald nach meiner erschien, war es ihm, wie er in einem Nachwort hervorhebt, leider nicht möglich, die Ergebnisse meiner Untersuchungen aus dem Buntsandstein zu verwerten; umgekehrt bedauere ich es, daß mir seine trefflichen Beobachtungen nicht bei Abfassung meiner Arbeit bekannt waren, da ich dann sicher in der von ihm angedeuteten Richtung eingehendere Untersuchungen angestellt hätte. Ausblühungen von salzigem Geschmack, die wie ein leichter weißer Hauch über das frische Gestein sich ausdehnen und dessen Verwitterung zu beschleunigen scheinen, habe auch ich hier und da beobachtet (S. 192). Der Volksmund bezeichnet sie kurzweg als »Salpeter«. Ich schrieb darüber: »Es sind lösliche Sulfate, meist von Natrium, die keinen Kalk enthalten; daneben kommen auch geringe Mengen schwer löslicher Sulfate vor, welche durch die Anwesenheit von Kalk als Gips erkannt wurden. An anderen Stellen treten an den Wänden, die hier weniger frisch erscheinen, weiße Krusten auf, die im Wasser unlöslich sind, dagegen sich in Säuren unter Aufbrausen lösen. Sie enthalten also reichlich Karbonate.

Außerdem finden sich noch Spuren von Sulfaten. An Metallen (Basen) war nur Calcium nachzuweisen¹⁾«.

Ich vermute, daß bei eingehender Untersuchung dieser Ausblühungen und Krustenbildungen im Buntsandstein des Pfälzerwaldes nach dem Beispiel von BEYER wohl noch manche bemerkenswerte Resultate erzielt werden können. Eine so ausschlaggebende Bedeutung für die Entstehung der Kleinformen im Buntsandstein, wie BEYER für den Quadersandstein annimmt, können sie aber nicht haben, da sie nur vereinzelt vorkommen und gerade die charakteristischen Verwitterungsformen, wie sie z. B. am Alten Schloß bei Eppenbrunn auftreten, ganz unabhängig von Ausblühungen sind.

Als weiterer Unterschied wäre noch zu erwähnen, daß die meisten Kleinverwitterungsformen im Pfälzerwald, wie bereits erwähnt, auf der Süd- und Südostseite, im Quadersandstein dagegen nach BEYER ganz unabhängig von der Himmelsrichtung auftreten (vgl. jedoch auch die mitgeteilten Beobachtungen anderer Autoren auf S. 281 dieser Arbeit, Fußnote)²⁾.

Salz als Faktor der Gitterbildung.

Von Spitzbergen hat neuerdings B. HÖGBOM (S. 245) gitterförmige und verwandte Verwitterungsformen, die im Innern der Insel sehr allgemein verbreitet sind, beschrieben und abgebildet. Gitterskulptur und hohle oder in ihrem Innern aufgelockerte Gesteine sind an mehreren Stellen (Axel-Insel, Braganzabucht, Pyramidenberg, Cap Conwentz) häufige Erscheinungen. Auf den Salzebenen der Braganzabucht zeigt die Mehrzahl der Sandsteinblöcke typische »Wüstenverwitterung«: Kulm-, Jura- und Tertiärsandstein besitzen dort dieselben oder ähnliche Verwitterungsformen. Ihre Entstehung wird nach HÖGBOM von dem dort herrschenden trockenen Klima bedingt, das sich auch in Salzausscheidungen des Bodens (Natriumsulfat, nicht Kochsalz) kundgibt. Diese Salzausblühungen bzw. die aus dem Meere stammenden Salze bewirken die Verwitterungsformen. »Daß die Frostverwitterung ohne Zutritt von Salzlösungen diese Verwitterungsformen hervorbringen kann, ist kaum anzunehmen; die Erscheinung dürfte in diesem Falle mehr ver-

¹⁾ Ich verdanke die damaligen chemischen Bestimmungen der Liebesswürdigkeit des inzwischen leider verstorbenen Prof. M. DITTRICH in Heidelberg. Die Ausscheidung von kalk- und gipshaltigen Lösungen in Krustenform auf der Oberfläche pleistocäner Sandsteine (Exsudat im Sinne von FUTTERER) beschreibt S. PASSARGE auch aus Algier (S. 114). Nach KREBS (S. 315) sind Karrenformen im Wadi Hof (westlich vom Nil) und seinen Seitentälern keine Seltenheit; ihre Entstehung wird neben Gips- und Salzausblühungen, also gewissermaßen einer Verwitterung von innen heraus, auf den Einfluß atmosphärischer Wässer zurückgeführt. Vgl. ebenda S. 317.

²⁾ Auf der Süd- und Südostseite machen sich namentlich an sonnigen Wintertagen die größten Temperaturgegensätze geltend, wodurch das Gestein hier besonders zermürbt wird. Damit hängt auch zusammen, daß die zahlreichen im Buntsandsteingebiet des Pfälzerwaldes vorkommenden Höhlungen und Nischen sich fast sämtlich nach Osten öffnen.

breitet in den arktischen Gebieten¹⁾ auftreten.« Die von HÖGBOM abgebildeten Stücke könnten nach ihrem äußeren Habitus ebensogut aus dem Pfälzerwald wie aus der Sächsischen Schweiz stammen.

Nach RAMANN (S. 70) »gewinnen die löslichen Salze des Bodens großen Einfluß auf die Verwitterung, wenn sie in größerer Menge vorhanden sind, beim Verdunsten des Wassers konzentrierte Lösungen bilden und endlich auskristallisieren. Hierdurch wird der Zusammenhang der Gesteine, zumal Kalk oder Sandsteine, gelockert. Die Salze scheiden sich besonders in den Spalten des Gesteins ab, da hier noch Feuchtigkeit vorhanden ist, wenn die Oberfläche bereits abtrocknet. Die Folgen sind chemisch geringe Veränderung der Oberfläche, starke Zerstörung der inneren Teile der Gesteine. Zerbricht endlich die schwache Oberflächenschicht, so sind die inneren Teile des Gesteines dem Angriff der Atmosphären, Wasser und Wind ausgesetzt, und die Zerstörung dringt in das Innere der Gesteine vor und bildet Löcher und Höhlungen. Es sind dies die bezeichnenden Formen der Verwitterung im Wüstengebiet, wo die Voraussetzungen für diese Form der Verwitterung vielfach gegeben sind.«

Daß Lochbildungen in Felswänden auch infolge der Einwirkung salzhaltigen Staubes, der zersetzend wirkt, entstehen können, haben PASSARGE in den Trockengebieten Algeriens und FUTTERER in denen Innerasiens festgestellt²⁾. Auch für die Entstehung der »tafonierten« Felswände auf Korsika glaubt S. GÜNTHER (S. 15) den durch heftige Winde aus dem westlichen Mittelmeer herangeführten Salzstaub zur Erklärung mit heranziehen zu können. Ebenso sind die von Graf ZU LEININGEN (S. 199) beschriebenen löcherigen Verwitterungsformen des Sandsteins an der Riviera ponente, so bei Bordighera, wohl auch der auflösenden Tätigkeit des Salzes zuzuschreiben³⁾. Neuerdings hat O. NORDENSKJÖLD aus Südgrönland tiefe halbkugelige Schalen von 4 cm Tiefe im Granit abgebildet; die »Auflösung [des Gesteins] geht so weit, daß der größte Teil des Steines verschwindet und nur noch ein dünnes Skelett als Zwischenmasse zurückbleibt . . . Die Erscheinung erinnert an eine Karrenbildung, aber in so schöner Form in Granit- und Gneisgesteinen oder Amphiboliten auftretend, dürfte das Phänomen jedenfalls selten sein. Übereinstimmend mit der Deutung, die solchen Hohlblöcken auf anderen Stellen gegeben worden ist, kann man sagen, daß ihre Entstehung nur

1) Von tiefen Löchern und Rinnen auf erratischen Blöcken berichtet auch E. PHILIPPI aus der Antarktis; er erklärt diese Erscheinungen durch große Temperaturunterschiede in kurzen Zeiträumen, exzessive Trockenheit und Fortschaffung alles feineren Materials durch exzessive Winde. Veröffentl. d. Instituts f. Meereskunde zu Berlin 1903, Heft 5.

2) Verhandl. d. XVII. Deutschen Geographentages S. 113.

3) Wegen ähnlicher im Kalk vorkommender noch deutlicher ausgeprägter Bildungen vgl. G. GÖTZINGER, Morphologische Bilder von der nördlichen Adria und von Istrien. Geologische Charakterbilder, herausgeg. v. STILLE, 5. Heft, Taf. 3. — Ferner K. ANDRÉE, Verschiedene Beiträge zur Geologie von Canada S. 419.



J. Schuberth phot. 1911.

Abb. 1. Verschiedene Formen der Verwitterung am Alten Schloß bei Eppenbrunn (Rheinpfalz).
Absanden (a), Säulengänge, löcherige Verwitterung, Verwitterungsrinde (v).

Zu Seite 275.



F. A. Bauer phot. 1909.

Abb. 2. Die löcherige Verwitterung setzt auf den Schichtfugen ein und greift allmählich über diese hinunter als Einleitung zur gitterförmigen Verwitterung. Eayerischer Windstein bei Obersteinbach (Elsaß).

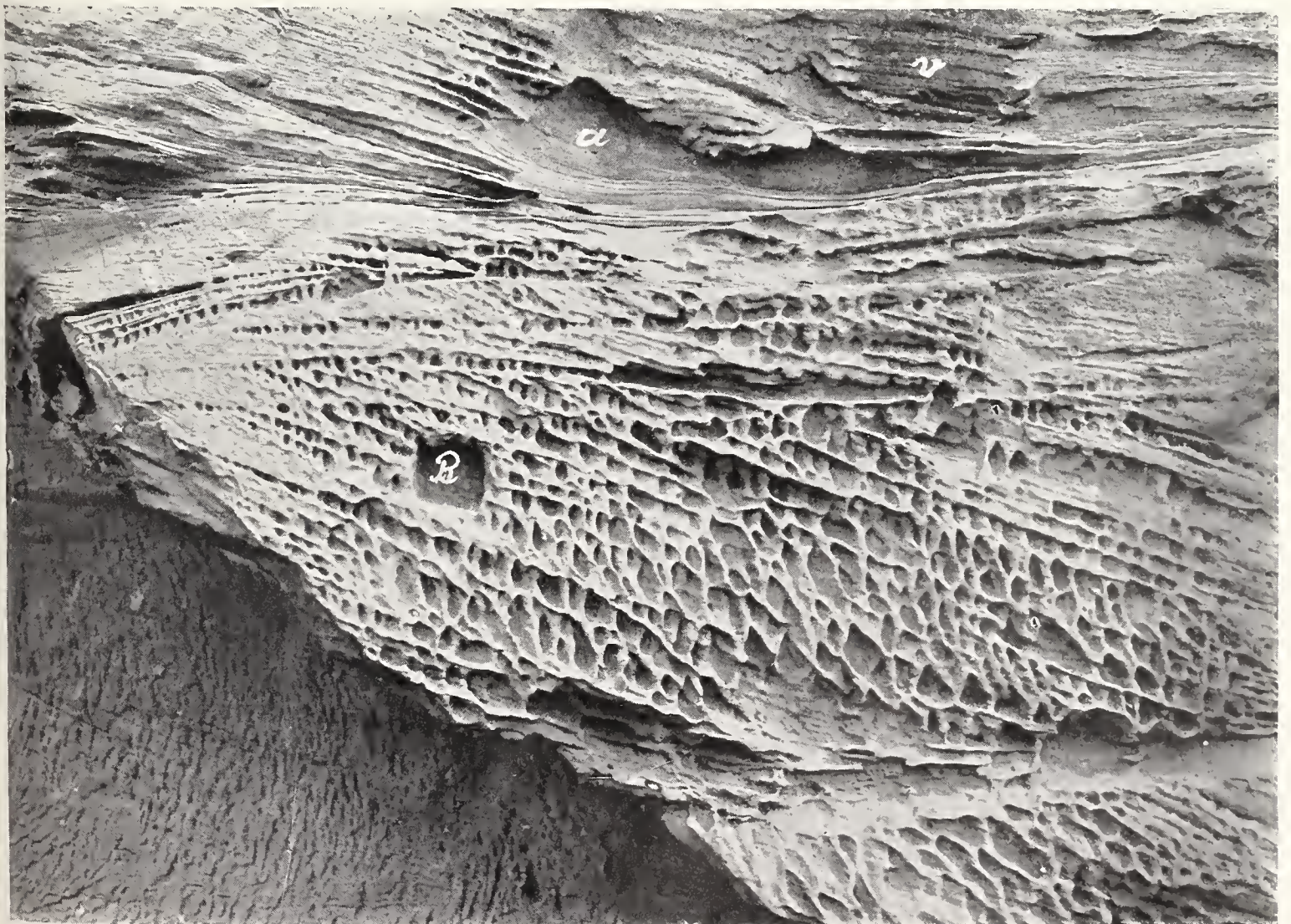




A. Bauer phot. 1908.

Abb. 3. Gitter- und netzförmige, hier geradezu spitzenähnliche Verwitterungsskulptur am Drachenfels bei Busenberg (Rheinpfalz). Mit dem Wechsel in der Schichtung nehmen auch die Verwitterungserscheinungen andere Formen an; darüber eine Bank mit sandiger Verwitterung (a).

Zu Seite 278.



A. Bauer phot. 1908.

Abb. 4. Netz- und gitterförmige Verwitterung im diagonal geschichteten Sandstein am Drachenfels bei Busenberg (Rheinpfalz). Absanden (a), Verwitterungsrinde (v), Balkenloch (B). Dauer des Verwitterungsprozesses höchstens zwei Jahrhunderte.



teilweise durch Windwirkungen bedingt werde, dagegen aber vor allem mit einer Beeinflussung durch freie Salze, die ja auch hier nachgewiesen worden sind, und welche die Auflösung des Gesteins in hohem Grade erleichtern, in Verbindung stehe.«¹⁾)

Besonders deutlich kann man die zerstörende Tätigkeit des Salzes an dem Mauerwerk von Salinenbauten, besonders an Gradierwerken beobachten (z. B. in Bad Dürkheim, Bad Münster a. St.), wo je nach der Gesteinsbeschaffenheit die verschiedensten Verwitterungsformen, u. a. auch zierliche Gitter, herauspräpariert werden.

Hier wäre auch noch eine Beobachtung zu erwähnen, die ich Herrn Prof. Dr. BINDER in Laibach zu verdanken habe. Dieser teilte mir, angeregt durch meine Untersuchungen, freundlichst mit, daß an dem vor etwa 50 Jahren mit mächtigen Sandsteinblöcken verkleideten Damm (*diga*) von Grado im istrischen Küstenlande an vielen Stellen ganz ähnliche gitterförmige Formen auftreten, wie ich sie aus dem Pfälzerwald vom Drachenfels abgebildet habe. Die Einwohner von Grado können sich diese auffallende Erscheinung nicht erklären; Herr BINDER vermutet, daß sie durch die Wirkung der Brandung und der dort herrschenden heftigen Winde zustande gekommen sei. Wahrscheinlich hat dort das vom Winde gepeitschte Meerwasser an den weniger widerstandsfähigen Partien auch eine chemisch lösende Tätigkeit entfaltet.

Ähnliche Erscheinungen auf Kalkblöcken an anderen Plätzen des östlichen Gestades der Adria (so bei Lesina und Curzola), die in der Spritzzone der Brandung liegen, erwähnt auch KREBS a. a. O. S. 317.

Wenn wir nun die Ergebnisse der vorstehenden Beobachtungen und die daran geknüpften verschiedenen Erklärungsversuche zusammenfassen, so ergibt es sich, daß nicht durch das Klima, sondern durch die Struktur und Zusammensetzung der Gesteine sowie durch die verschiedenen auf diese einwirkenden Kräfte die Entstehung der gitterförmigen Verwitterungsformen bedingt wird und daß sowohl im ariden wie im humiden Klima ganz analoge, ja äußerlich wohl nicht voneinander unterscheidbare Formen durch das Vorwalten verschiedener Kräfte herausgebildet werden können.

Heidelberg, im Juli 1914.

¹⁾ NORDENSKJÖLD, Einige Züge zur physischen Geographie und der Entwicklungsgeschichte Süd-Grönlands. Geogr. Zeitschr. 1914, S. 522, Taf. VIII, Abb. 7 u. 12. — Nach H. T. FERRAR zeigen auch im antarktischen Viktoria Granitblöcke Bienenwabenstruktur, nach seiner Auffassung allerdings infolge Windwirkung. National Antarctic Expedition 1901—1904, Bd. I, S. 87. — Ähnliche Erscheinungen hat auch E. PHILIPPI vom Gaußberge beschrieben. Deutsche Südpolarexpedition 1901—1903, Bd. II, S. 60 u. Taf. VII.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Geologische Rundschau - Zeitschrift für allgemeine Geologie](#)

Jahr/Year: 1915

Band/Volume: [6](#)

Autor(en)/Author(s): Häberle Daniel

Artikel/Article: [Die gitter-, netz- und wabenförmige Verwitterung der Sandsteine 264-285](#)