Werk

Titel: Aufsätze und Mitteilungen

Ort: Leipzig

Jahr: 1913

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?345572157_0004|log114

Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

info@digizeitschriften.de

I. Aufsätze und Mitteilungen.

Über die Wärmeleitung der Gesteine und deren Einfluß auf die Temperatur in der Tiefe.

Von **Joh. Koenigsberger.**

Der Einfluß der Wärmeleitung von Gesteinen auf die Temperatur in der Tiefe ist schon oft diskutiert worden. Die Ausführungen von E. SCHULZ[1]) veranlassen mich, auf diese Frage wieder zurückzukommen. Die verschiedene Wärmeleitfähigkeit der Gesteine muß, wie die Theorie der Wärmeleitung zeigt, die Temperatur in der Tiefe beeinflussen. Wie stark aber dieser Einfluß ist, hängt erstens von der Größe der Unterschiede in der Wärmeleitfähigkeit, zweitens von den Begrenzungen und den Mächtigkeiten der verschiedenen Gesteine ab.

Für die Vergleichung der Wärmeleitung verschiedener Gesteine und Mineralien kann man nicht irgendeine Tabelle mit den Bestimmungen der absoluten Wärmeleitfähigkeit verwenden. Das wurde schon früher gezeigt[2]); hier seien, um das zu beweisen, nur einige Werte von guten Beobachtern gegeben.

Material	λ (k)	Beobachter
Marmor	0,0071	LEES
»	0,0082	G. STADLER
»	0,0050	PEIRCE und WILSON
»	0,0048	HECHT
Granit	0,00041	R. WEBER
»	0,0076 bis 0,0097	G. STADLER

Aus den obigen Zahlen läßt sich daher nach Belieben folgern, daß Marmor viel besser als Granit leitet, oder das Umgekehrte. Man darf also nicht die Zahlen aus irgend einer Tabelle entnehmen, sondern man muß entweder nur Zahlen vergleichen, die ein Autor nach einer Methode erhalten hat, oder selbst nach einer Methode Messungen anstellen, wie wir das getan haben, oder versuchen, sehr kritisch mit eingehender Kenntnis der Methoden die Zahlen zu sichten. Wir wollen zunächst erörtern, wie es sich mit der Leitfähigkeit der einzelnen Mineralien verhält. Quarz hat,

[1]) E. SCHULZ, Geol. Rundsch. 4, p. 132, Anm. 3. 1913.
[2]) Zentralbl. f. Miner. 1907, p. 200.

wie aus den neuesten besten Bestimmungen von A. EUCKEN[1]) folgt, parallel zur Achse bei 30° λ = 0,0294, senkrecht zur Achse λ = 0,0156. Für Kalkspat ergibt sich im Mittel von parallel und senkrecht zur Achse aus den neuesten besten Bestimmungen von EUCKEN und CH. LEES im Mittel 0,010; für Marmor nach den neuesten besten Bestimmungen in Übereinstimmung mit den Messungen von H. GOELZ und dem Verf. λ = etwa $5 - 7 \cdot 10^{-3}$. Wie EUCKEN[1]) gezeigt hat, und auch schon aus den Messungen von LEES[2]) zu ersehen war, besitzen die einheitlichen Krystalle ein größeres Wärmeleitungsvermögen mit einer anderen Temperaturabhängigkeit, als die aus denselben Mineralien bestehenden, aber diese in feinen Körnern enthaltenden Gesteine. Bei einem Gestein, das nahezu aus reinem Quarz besteht, wird die Wärmeleitfähigkeit aus zwei Gründen kleiner sein, als die an einem einheitlichen Krystall gemessenen Werte, 1. weil überhaupt Trennungsflächen zwischen den einzelnen Mineralkörnern vorhanden sind, 2. weil zwischen diesen bei den Laboratoriumsversuchen sich häufig noch Luft befindet. Die Luftzwischenräume verkleinern aber ganz wesentlich die Wärmeleitfähigkeit der trockenen Gesteine; denn die Luft ist ein sehr schlechter Wärmeleiter. So ist z. B. von G. STADLER für einen wenig dichten trockenen Molassesandstein λ = 0,0034, für einen dichten trockenen Sandstein λ = 0,008 14 gefunden worden, während nach neueren Messungen von B. HECHT[3]) normaler, trockener Sandstein etwa λ = 0,0050 besitzt. Wenn ein poröses Gestein, das Luft enthält, mit Wasser angefeuchtet wird, so nimmt seine Wärmeleitfähigkeit sehr erheblich, unter Umständen bis auf das Doppelte und Dreifache zu[4]). Da nun in der Natur die Gesteine in nicht allzugroßer Tiefe bergfeucht zu sein pflegen, muß man bei Messungen die Gesteine in feuchtem Zustand miteinander vergleichen. Unter diesen Bedingungen zeigen, wie wir nach der zuverlässigen Methode von W. VOIGT gemessen haben[5]), normaler Granit, Gneis (im Mittel) und Kalk, sowie Marmor praktisch nahezu das gleiche Wärmeleitungsvermögen.

Sandsteine und Quarzite spielen in den von Tunnels durchquerten Gebirgen der Alpen nur eine untergeordnete Bedeutung; daher haben wir diese nicht mit untersucht. Jedenfalls ist die Bemerkung von Herrn E. SCHULZ nicht zutreffend, daß die verschiedene Wärmeleitfähigkeit der Gesteine in den Alpen für die Tiefenstufe von wesentlicher Bedeutung sein muß.

Der Einfluß des Wassers als Bergfeuchtigkeit muß ferner nach dem

[1]) A. EUCKEN, Ann. d. Phys. [4] 34, p. 215, 1911.

[2]) CH. LEES, Phil. Trans. Roy. Soc. London, 204, p. 433, 1905.

[3]) Literatur vgl. Handbuch d. Physik, her. von WINKELMANN, Artikel Wärmeleitung von L. GRAETZ, Leipzig 1906.

[4]) Vgl. die Messungen von HERSCHEL und LEBOUR bei J. PRESTWICH, Proceed. R. Soc. London 1886. Nr. 246.

[5]) Messungen von H. GOELZ, bei J. KOENIGSBERGER und M. MÜHLBERG, N. Jahrb. f. Min. Blbd. 31, p. 141. 1911.

oben Gesagten ausgleichend zwischen porösen und weniger porösen Gesteinen wirken, weil an Stelle der schlecht leitenden Luft das weit (100 mal) besser leitende Wasser tritt.

Daß parallel geschichtete Gesteine eine mit der Richtung verschiedene Wärmeleitfähigkeit besitzen, ist von viel größerer Bedeutung, obgleich auch hier, wie wir direkt durch Versuche nach der Methode von SÉNARMONT zeigten, die Bergfeuchtigkeit die Unterschiede wesentlich verringert.

Eine andere Frage wäre die, ob ganz dichte Quarzgesteine eine wesentlich größere Wärmeleitfähigkeit, als die anderen Gesteine besitzen. Das dies bezüglich der gewöhnlichen Sandsteine nicht der Fall ist, folgt aus den Messungen von G. STADLER[1]).

Man darf natürlich nicht, wie schon erwähnt, absolute Messungen verschiedener Autoren miteinander vergleichen, sondern muß die Werte, die ein Autor nach einer Methode an verschiedenen Gesteinen erhalten hat, allein benutzen.

Dichte Quarzite sind im allgemeinen in der Natur recht selten. Nehmen wir aber an, daß in dem von Herrn SCHULZ untersuchten Fall dichte Quarzite mit wesentlich größerer Wärmeleitfähigkeit vorliegen, so muß doch noch die zweite Bedingung, Begrenzung und Mächtigkeit der Gesteine, beachtet werden. Wie an anderer Stelle gezeigt, folgt aus der Theorie der Wärmeleitung, daß eine Einlagerung von Gesteinsschichten mit größerer oder kleinerer Wärmeleitfähigkeit nur dann eine erheblich andere Temperatur besitzen kann, wenn dies Gestein eine große Mächtigkeit besitzt, und auch nur dann in größerer Entfernung, 100—200 m von der Grenze. Ein Temperatursprung kann im Erdinnern überhaupt nicht statthaben, sondern nur, auch wenn wirklich die Wärmeleitfähigkeiten recht verschieden sind, ein langsamer Übergang.

Daß die Gesteinsbeschaffenheit die Erzführung stark beeinflußt, ist schon lange bekannt und an vielen Stellen beobachtet worden. Doch ist die Wirkung des Nebengesteines recht verschieden, mitunter, so z. B. bei den Erzgängen in Sardinien, haben poröse Kalke die Erzausscheidungen begünstigt. An anderen Orten sind es wieder die Quarzite, in die das Erz eindringt. Aus eigener Anschauung ist mir da Almaden bekannt. Hier ist eine ganz scharfe Scheidung zwischen Schiefer und Quarzit. Im Quarzit dringt der Zinnober auf vielen kleinen Spalten in das Gestein ein und bildet ein bis 1 m mächtiges Mischgestein von Zinnober und Quarzit. Am Schiefer dagegen setzt der Gang ganz scharf auf 1 cm ab. Der Hauptgang selbst durchsetzt in gleicher Mächtigkeit und Reinheit beide Gesteine. Mir scheint, daß, wie man wohl auch meist annimmt, der Einfluß des Nebengesteins auf verschiedene Ursachen, in erster Linie aber auf chemische Wechselwirkung zurückzuführen ist. So

---

[1]) G. STADLER, Bern 1889. Bestimmung des absoluten Wärmeleitungsvermögens.

werden z. B. alkalicarbonat- und -sulfidhaltige Lösungen, die sehr wohl, wie die Versuche von C. DOELTER zeigen, sulfidische Erze führen können, Kieselsäure als Quarz auflösen, während sie Tone kaum angreifen werden. Zweitens wird die größere mechanische Festigkeit der Quarzite dahin wirken, daß einmal geöffnete Spalten längere Zeit offen bleiben und so die Zirkulation der Lösungen erlauben.

Wenn in den oberschlesischen Zink- und Bleierzlagerstätten Quarz da auftritt, wo der Gang quarzreiche Grauwacke durchsetzt, und dort auch der Spateisenstein sehr mächtig ist, so dürfte das meiner Ansicht nach wahrscheinlich eher auf einen chemischen Prozeß, bei dem zuerst Spateisenstein ausgefällt und Quarz gelöst wurde, als auf verschiedene Wärmeleitung zurückzuführen sein. Der Quarz kann dann etwas höher oben im Gang bei der allmählichen Abkühlung der aufsteigenden Lösung, wieder ausgeschieden worden sein. Daß in dem Siegener Gebiet nach der Angabe von E. SCHULZ (p. 134), in Kalk nur die sulfidischen Mineralien und nicht Quarz und die Carbonate ausgeschieden wurden, ist gewiß sehr interessant, aber man findet in anderen Gegenden auch das Umgekehrte. Eine einfache Erklärung hierfür vermag ich nicht zu geben, aber die verschiedene Wärmeleitungsfähigkeit der Gesteine kann damit nichts zu tun haben, wie oben dargelegt wurde, und wie gerade die Umkehr der Erscheinung zeigt.

Ich möchte noch kurz die Beobachtungen von W. BORNHARDT[1]) über die geothermische Tiefenstufe in den Siegener Bergwerken des Rheinischen Schiefergebirges besprechen.

BORNHARDT hat aus zahlreichen Beobachtungen die in verschiedenen Tiefen gemessenen Temperaturen auf Kurven anschaulich und die Tiefenstufe dargestellt; letztere ist im Mittel etwa 45 (42) m p. 1°. Ich gehe dahin mit W. BORNHARDT einig, daß große Erzmassen wegen ihrer erheblich größeren Wärmeleitfähigkeit die Tiefenstufe vergrößern können. Auch mag, wie schon oben erwähnt, die Wärmeleitfähigkeit der Quarzite tatsächlich etwas größer sein als die anderer Gesteine. Doch sagt W. BORNHARDT gerade bezgl. dieser Frage, daß er sich nicht getraue, aus dem von ihm gesammelten Material bestimmte Schlüsse in dieser Richtung zu ziehen.

Hinsichtlich der Brauchbarkeit der Messungen von Temperaturen in Bergwerken läßt sich, wie ich glaube, folgendes sagen:

Schon eine geringe Luftzufuhr, die von selbst erfolgt, die sogenannte natürliche Ventilation, setzt die Temperatur im Bergwerk merklich herunter. Namentlich wirken die Schächte auch in warmen Gegenden nachts sehr stark. Es muß ein Raum lange abgeschlossen sein, damit er seine normale Temperatur annimmt, wie aus folgendem hervorgeht. Am Rammelsberg, in Rio Tinto, auch in den Schwefelgruben Siziliens sind

---

[1]) W. BORNHARDT, Über die Gangverhältnisse des Siegerlandes und seiner Umgebung. Teil II. Berlin 1912. p. 386.

in abgesperrten Stollen viel höhere Temperaturen beobachtet worden und jetzt noch zu beobachten, als in dem offenen aber nicht ventilierten Bergwerk. In beiden macht sich als erwärmend und die normale Tiefenstufe verkleinernd der Oxydationsprozeß von Mineralien durch die wenn auch langsam diffundierende Luft geltend. Diese Oxydation geht aber in den nicht abgesperrten Stollen noch stärker vor sich; doch ist die Luftkühlung da so stark, daß die entwickelte Wärme größtenteils weggeschafft wird. — In einem Bergwerk in dem, wie im Siegener Gebiet, Mineralien fehlen, die sich oxydieren können, wird die natürliche Ventilation in den benutzten Stollen nur kühlend wirken und auch auf die abgesperrten Räume indirekt durch das Gestein hindurch sich geltend machen. Ob die große Tiefenstufe von 40—45 m, die sich, wie Bornnardt zeigte, aus den Beobachtungen im Siegener Gebiet ergibt, zum Teil durch diese Bergwerkseinflüsse bedingt ist, läßt sich schwer entscheiden.. Es wäre möglich, daß in einer Bohrung im Siegener Gebiet bei normalen Bedingungen (keine Quelle) die Tiefenstufe sich etwas kleiner ergeben würde. Gleichwohl sind sorgfältige Messungen in Bergwerken, wie sie im Rheinischen Schiefergebirge angestellt wurden, von großem Wert, auch wenn, wie ich glaube, eine gewisse Unsicherheit bez. der Größe der jedenfalls geringfügigen Korrektion, noch herrscht.

Einige Wüstenerscheinungen aus nicht aridem Klima.

Von **Paul Kessler.**

Mit Tafel XII.

In seinem »Gesetz der Wüstenbildung«[1]) hat Johannes Walther eine Menge Einzelheiten über Verwitterungsformen der Wüste gebracht, so über Sandpolitur, Kantensteine, Rillensteine, Steingitter, Pilz-, Tisch- und Baldachinfelsen, Zeugen, Wadis und anderes. Durch seine und seiner Vorgänger Forschung haben wir uns so daran gewöhnt, diese Formen als der Wüste angehörig zu betrachten, daß wir erstaunt sind, wenn wir ihnen in Nichtwüsten begegnen.

Wenn wir in vegetationsarmen Sandgebieten, die einzelne Verhältnisse der Wüste widerspiegeln, auch einzelne Verwitterungsformen der Wüste treffen, wenn wir etwa am Nordseestrande prächtig windpolierte Geschiebe finden, so kann uns das wenig überraschen; anders, wenn wir die Formen in bewaldeten Gegenden oder in Tongebieten nicht ariden Klimas wiederfinden.

B. G. Escher[2]) hat neuerdings auf Rillensteine von der Rötialp im Tödigebiet aufmerksam gemacht, die alle Erscheinungen der Rillen-

[1]) Die Zitate beziehen sich auf die zweite Auflage.

[2]) Über die Entstehung des Reliefs auf den sogenannten »Rillensteinen«. Geol. Rundschau Bd. IV, H. 1, 1913.

steine aus Wüstengebieten aufweisen. Da an Entstehung unter der Wirkung von Sandwinden nicht zu denken ist, glaubt er, ebenso wie es WALTHER für die Rillensteine der Wüste tut, chemische Vorgänge annehmen zu müssen. In der Tat ist ja die Ähnlichkeit des Reliefs von Kalksteinen, die längere Zeit verdünnter Säure ausgesetzt waren, mit dem der Rillensteine groß, wenn auch meist die Ausarbeitung der ersteren nicht so fein ist. Nach WALTHER[1]) entstehen die Rillensteine im Boden, und zwar nahe der Oberfläche, durch Ätzwirkungen aufsteigender, sich hier konzentrierender Lösungen. Die Tiefe, in der sie sich bilden, beträgt allerdings nur etwa bis 10—20 cm. Daß sie gewöhnlich an der Oberfläche liegen, dürfte auf nachträgliche Freilegung zurückzuführen sein.

Die WALTHERsche Erklärung befriedigt für das Tödigebiet nicht vollkommen. Die Verdunstung scheint mir hier zu gering, um dauernd Wasser aus dem Untergrund aufsteigen zu lassen. Ob jedoch die lösende Stoffe führenden Wasser aufsteigen oder sonst irgendwie zirkulieren, erscheint nebensächlich; wichtiger ist, daß nach ihm die Rillensteine nicht durch Wirkung des Sandwindes, sondern durch chemische Vorgänge gebildet sind. Damit ist der prinzipielle Unterschied der Rillensteine von den ihnen ähnlichen und oft mit ihnen verglichenen Karrenbildungen aufgehoben. Beide verdanken chemischen Lösungsvorgängen ihre Entstehung. Das Klima spielt dabei keine ausschlaggebende Rolle. Nicht nur in unserem Klima lassen sich nicht allzu selten Rillensteine nachweisen, sogar unter nivalem Klima können sie sich bilden.

In den Schichten mit *Posidonomya Mimer* der Trias des Middle Hook auf Spitzbergen liegen Tone, denen zahlreiche Kalkknollen eingebettet sind. Eckige Bruchstücke der Kalke zeigen häufig Rillensteinskulptur, besonders die von ESCHER unter »homogene Ätzung« angeführte Oberfläche mit Grübchen, Wärzchen und unregelmäßig gewundenen Rippen. Der Boden, auf dem die Rillensteine liegen, ist tonig und fast beständig feucht; an Winderosion ist daher trotz der exponierten Lage der Stelle nicht zu denken.

Das Material der Rillensteine ist meist Kalk, die von ESCHER beschriebenen bestehen aus Dolomit, ABEL[2]) hat Rillensteine aus »sehr feinkörnigem Sandstein« beschrieben, sonst wird noch Hämatit angegeben. Wo Rillensteine vorkommen, handelt es sich also stets um Gesteine von ziemlich gleichmäßigem Gefüge, die aus nicht allzu schwer löslichem Material bestehen, Rillensteinskulptur (ebenso wie Karrenbildung und ähnliche Lösungserscheinungen, auch an Klüften) habe ich besonders an dem bloßen Auge homogen erscheinenden Kalken bemerkt, in denen allerdings Kalkspatäderchen oder ähnliches auftreten konnten.

Auffallenderweise stammen die in der Literatur erwähnten meisten

[1]) a. a. O. S. 126.

[2]) Über sternförmige Erosionsskulpturen auf Wüstengeröllen. Jahrb. K. K. geol. Reichsanst. 1901. Bd. 51. Heft 1, S. 25 ff.

Wüstenrillensteine nicht aus der eigentlichen Sandwüste, sondern aus Oasen, doch mag das mit der besseren Verkehrsmöglichkeit und dem häufigeren Besuch zusammenhängen. Wichtiger scheint, daß nach Walther die Rillensteine mit besonders deutlicher Skulptur nicht Sanden, sondern Tonen eingebettet sind. Auch die von mir beobachteten Rillensteine von Spitzbergen, sowie einige aus Deutschland lagen in oder auf Tonen. Neben der Substanz der Steine selbst dürfte wohl auch der Untergrund, bzw. die umgebende Masse nicht unwesentlich sein; vielleicht spielt auch Vegetationsarmut eine Rolle. Immerhin sind, nach dem häufigeren und schöneren Auftreten die Bedingungen für Rillensteinbildung, wenn auch nicht der Wüste allein eigentümlich, so doch in ihr in besonderem Maße vorhanden.

Auch die Steingitter sind nicht eine Erscheinung, die sich allein in der Wüste zeigt. Das von Walther abgebildete Steingitter auf Sandstein von Arizona[1]) könnte ebensogut die Abbildung irgendeines Wabensandsteines der Zwischenschichten des oberen Buntsandsteins Südwestdeutschlands sein. Bei diesen braucht man aber die Wabenoberfläche keineswegs auf Wüsteneinflüsse zurückzuführen; im Gegenteil ist eine Entstehung unter feuchtem Klima durch Auslaugung wahrscheinlicher. Die unregelmäßigen, bald größeren, bald kleineren, bald dicht, bald weniger dicht stehenden, aber stets scharf umgrenzten Löcher treten besonders in Schichten mit etwas kieseligem Bindemittel auf. An anderen Lagen der Zwischenschichten, wo tonigeres Bindemittel vorhanden ist, treten den Waben an Umfang und Verteilung vollkommen entsprechende Erhöhungen auf. Da diese sich als aus dolomitischen Knauren bestehend ausweisen, muß man die Waben der Zwischenschichten wohl auf Auslaugung derartiger Knauren und Stehenbleiben der widerstandsfähigeren Sandsteine zurückführen. In vielen anderen Fällen allerdings, namentlich da, wo die Löcher nicht die scharfe Begrenzung zeigen, läßt sich nicht sofort ein Unterschied im Gestein nachweisen, wenn er auch höchst wahrscheinlich vorhanden ist. Das gilt besonders für die Schichten des mittleren Buntsandsteins. Grade bei diesen sehen wir nicht selten an ehemals künstlich geglätteten Aufschlüssen, die längere Zeit der Verwitterung (unter unserem jetzigen Klima) preisgegeben waren, an Wegeeinschnitten, alten Steinbrüchen und Burgfelsen, Löcher und Waben auftreten. 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,

[1]) S. 173.

wird durch das Auftreten der Gitter in ganz bestimmten Horizonten zwischen gitterfreien Horizonten bewiesen. Sogar bei den Gneisen sieht CLOOS[1]) die Hauptursache der Wabenverwitterung in dem Umstande, daß die Verschiedenartigkeit der sich leicht trennenden Gesteinskomponenten der Verwitterung durch Hitze und Frost sehr entgegenkommt. Es darf aber nicht übersehen werden, daß in unserem Klima m. W. Wabenverwitterungen nur in Sandsteinen, so z. B. auch in der Sächsischen Schweiz, nicht aber in Gneisen, Graniten und anderen harten Gesteinen vorkommen; dazu scheint doch das Klima der Wüste nötig zu sein.

An einigen Stellen in Deutschland kommen auch die größeren Verwitterungsformen, die man meist als der Wüste eigentümlich ansieht, vor. Pilzfelsen, Tischfelsen und Baldachinfelsen sind z. B. im »Felsenlande des Pfälzerwaldes« eine ganz gewöhnliche Erscheinung[2]). Allgemein bekannt sind die bizarren Verwitterungsformen der Sächsischen Schweiz.

Bei diesen Vorkommen fragt sich nun, ob die Formen unter unserem jetzigen Klima entstanden, oder ob sie die Zeugen eines früheren wüstenähnlichen Klimas sind. Für die Sächsische Schweiz tritt HETTNER[3]) der Auffassung von der Entstehung der Felsformen unter wesentlich anderem als dem jetzigen Klima entschieden entgegen; er sucht nachzuweisen, daß sie sich sehr wohl unter unserem feuchten Klima bilden konnten. Die Durchlässigkeit des Gesteins, auf dem die Oberflächenwasser sofort versickern und daher keine wesentliche erodierende Wirkung an der Oberfläche ausüben sollen, soll dieselbe Wirkung wie ein trockenes Klima hervorbringen. (Ähnlich wie die Durchlässigkeit unserer Dünensande unter unserem nassen Klima Formen verursacht, die sonst trockenem Klima eigen sind.) Die versickerten Wasser treten über etwas mergeligeren Schichten an den Steilhängen aus und lösen hier sowohl durch ihr Abfließen — es kommt nach HETTNER nur zu Sickerwassern, nicht zu eigentlichen Quellen — wie durch Frostwirkung die Sandkörner los. Der Steilhang wird unterhöhlt, es stürzt die obere Partie nach, neue Steilabstürze entstehen. Eine bedeutende Rolle spielt dabei nach HETTNER die erwähnte Wabenverwitterung. Auf sie — die Löcher nehmen hier z. T. recht bedeutende Ausmaße an — sollen z. B. die Felstore zurückzuführen sein. Daß aber in der Tat auch die Oberflächenwasser eine bedeutende Wirkung in der sächsischen Schweiz ausgeübt haben, scheint mir durch die »Gründe« (enge Täler, meist ohne ständig fließendes Wasser) bewiesen, die HETTNER selbst mit Kañons vergleicht. Würde in der Tat alles Wasser versinken, und wäre es von jeher ver-

---

[1]) Wind und Wüste im Deutschen Namalande. Neues Jahrb. f. Min. usw. Beilagebd. XXXII, 1911, S. 63.

[2]) D. HÄBERLE, Das Felsenland des Pfälzer Waldes. Kaiserslautern 1911.

[3]) Die Felsbildungen der Sächs. Schweiz. Geograph. Zeitschr. Bd. IX, 1903, S. 608—626. Wüstenformen in Deutschland? Geograph. Zeitschr. Bd. XVI, 1910, S. 690—694.

sunken, so müßte es in geschlossenem Streifen am Steilufer der Elbe über den Wasser undurchlässigen Schichten austreten. Nicht oder nur schwach geöffnete Klüfte könnten nicht die Veranlassung zur Bildung der Gründe sein, da ja etwa sich wirklich an ihnen loslösende Teilchen nicht ausgeräumt werden können, es sei denn, daß die Abwitterung vom Haupttale aus durch Unterhöhlung in der Nachbarschaft der Klüfte schneller als sonst vorschreite. Diese Entstehungsart der Gründe nähme aber unermeßlich längere Zeiträume in Anspruch, als Ausräumung durch oberflächlich fließendes Wasser. Man wird also wohl gezwungen, die Anlage der Gründe durch Oberflächenwasser anzunehmen; erst wenn das Seitental eine gewisse Breite hatte, konnte Unterhöhlung durch Sickerwasser und Nachsturz der Felsmassen das Weitere besorgen.

Es kann trotzdem nicht geleugnet werden, daß der größte Teil der Wasser hier, wie auch im Pfälzer Wald, versinkt und wohl Anlaß zu weiterer Ausgestaltung der Felsenlandschaft sein kann, die, nehmen wir für den Beginn ihrer Entstehung ein dem jetzigen ähnliches Klima an, durch fließendes Wasser angelegt sein könnte.

Ebensowenig wie Hettner[1]) möchte ich die Andeutung von Auf- und Absteigen der Täler (Gründe), die die Ähnlichkeit mit Wüstentälern erhöht, als zwingenden Beweis für Bildung unter anderem Klima ansehen. Sie ist dadurch hervorgerufen, daß der Boden an manchen Stellen von dicken, über das sonstige Niveau sich erhebenden Sandmassen bedeckt ist, was durch Sandabstürze und Verwitterung abgestürzter Felsmassen sich ungezwungen erklären läßt, und wozu man noch nicht einmal, wie Hettner es tut, äolische Umlagerung der Sande annehmen muß, wenn sie auch hier und da auch unter unserem jetzigen Klima vorkommen mag.

Isoliert stehende »Zeugenberge«, wie sie in der Sächsischen Schweiz und in der Haardt angetroffen werden, sind nicht im Wesen, sondern nur in der Größe von den freistehenden Pfeilern verschieden. In den wirklich allein, nicht mit anderen Felsmassen mehr oder minder in Zusammenhang stehenden Pfeilern wird man oft nur die letzten Reste von Zeugen zu sehen haben. Anders allerdings steht es mit den Pfeilern, die sich an eine größere Felsmasse anschließen. Zu ihrer Entstehung muß man wohl immer ein System von mehr oder minder nahe aneinander liegenden Linien geringsten Widerstandes gegen die abtragenden Kräfte annehmen. Als solche Linien kommen in erster Reihe Klüfte in Betracht.

Zeugen allein können in keiner Weise ein Beweis für ehemaliges arides Klima sein; sie finden sich selbst in feuchten Klimaten der Tropen und Subtropen und können sich überall bilden, wo durchlässige Schichten in tafelförmiger Lagerung auftreten. Nur in der Einzelgestaltung, in der Abwesenheit eines Fußhanges und dem Herabreichen der Felswand bis an den Fuß scheint das Wüstenklima zur Geltung zu kommen[2]).

[1]) Hettner, Die Felsbildungen usw. S. 616.

[2]) Hettner a. a. O. S. 621.

Sehen wir die Abbildungen in HÄBERLES erwähnter Arbeit durch, oder besser, wandern wir durch den Pfälzer Wald, so finden wir in der Tat eine Menge Felsen, die fast ohne Fußhang aus dem umgebenden flachen Gelände aufsteigen. Der Verwitterungsschutt ist also durch irgendeine Kraft beseitigt. Grenzt der Fels mit seinem Fuße an ein Bachtal, so läßt sich die Wegräumung seines Schuttes leicht durch Hochfluten erklären, ragt aber ein Fels ohne Schuttsockel aus einer hochgelegenen ebenen Umgebung steil auf, so bleibt unverständlich, welche Kraft den Schutt entfernt haben soll, wenn nicht der Wind. Der Wind übt aber zur Jetztzeit in den Waldrevieren des Pfälzer Waldes nur eine relativ geringe Wirkung aus, so daß man wohl eine nur wenig zurückliegende Zeit stärkerer Windwirkungen annehmen muß.

In der Sächsischen Schweiz sieht HETTNER einen Hauptbeweis gegen die Entstehung der Felsformen unter aridem Klima in dem Umstande, daß die Denudationsterrassen, d. h. die Terrassen, die allein durch verschiedene Widerstandsfähigkeit gegen die Verwitterung entstanden sein sollen (im Gegensatz zu den Erosionsterrassen, die durch die ehemalige Höhe der Flußläufe bestimmt wurden), auf ihrer Oberfläche fast ausschließlich aus Sandstein bestehen. In den sie trennenden Landstufen liegen Tone und Mergel erst im unteren Teile. Bei Entstehung der Denudationsterrassen unter Einwirkung des Windes wäre es in der Tat unerklärlich, warum die gegen Windabtragung wenig widerstandsfähigen Sandsteine, nicht aber die viel widerstandsfähigeren Tone und Mergel die Terrassenflächen bildeten, während bei feuchter Verwitterung, durch unterhöhlende Sickerwasser oder durch Oberflächenwasser, naturgemäß die gegen feuchte Verwitterung weniger als die Tone empfindlichen Sandsteine ein Stufe bilden müssen.

Nun ist aber keineswegs gesagt, daß die Herausbildung der Denudationsterrassen, die übrigens nach HETTNERS eigenen Angaben sich mit den Flußterrassen berühren oder neben ihnen liegen, kurz schwer von ihnen zu unterscheiden sind, ein gleichzeitiger Vorgang mit der Herausmodellierung der Felsformen sein mußte. Die Felsformen können daher unter ganz anderem Klima gebildet sein als die Denudationsterrassen.

HETTNER hat m. E. nicht die Gewißheit dargetan, daß die Felsformen sich unter einem dem jetzigen ähnlichen Klima gebildet haben, sondern nur die Möglichkeit, daß es so sein könnte.

Mit allen ihren sowohl aus der Wüste wie aus der Sächsischen Schweiz bekannten Eigentümlichkeiten tritt die Felsbildung im Pfälzer Wald auf. Im Gebiet des mittleren Buntsandsteins lassen sich vier Horizonte feststellen, die sich »durch das mehr kieselige Bindemittel gegenüber anderen Schichten mit mehr toniger Bindung«[1]) auszeichnen. Auf diese Stufen, die sich wohl in gleicher Weise gegen trockene wie gegen feuchte Verwitterung widerstandsfähig erweisen, ist die Felsbildung beschränkt,

[1]) HÄBERLE a. a. O. S. 21.

während der Sandstein der zwischen ihnen liegenden Schichten wegen seines nur spärlich verteilten tonigen Bindemittels keiner Art der Verwitterung besonderen Trotz zu bieten vermag. Im übrigen sind die Verhältnisse denen in der Sächsischen Schweiz sehr ähnlich: eine annähernd horizontal liegende Tafel mächtiger Sandsteine ist stark zerklüftet. Die häufige reihenförmige Anordnung der Felsen ist fast noch auffallender als dort. Eine völlig befriedigende Erklärung hierfür ist bisher noch nicht gefunden, die Erscheinung steht aber wohl mit Umständen in Zusammenhang, die auf tektonische Störungen zurückzuführen sind, »da die auch bei diesen wichtige SW.—NO.-Richtung auffällig vorherrscht«[1]).

Ebensowenig wie in der Sächsischen Schweiz scheint zur Entscheidung der Frage nach den Umständen, unter denen sich diese Formen gebildet haben, ihr Studium allein zu genügen; auch die nähere und fernere Umgebung muß auf etwaige Anzeichen trockneren Klimas untersucht werden.

Hettner selbst muß zugeben, daß es die in der Nachbarschaft der Sächsischen Schweiz gibt: in den Dünen der glazialen Sandablagerungen der Dresdener Heide und in den Kantengeröllen, die in den Kiesgruben der Gegend von Pirna und des Pillnitzer Tännigts massenhaft vorkommen. »Wir müssen annehmen, daß diese Sandablagerungen einmal der Walddecke entbehrt haben. Aber«, fährt er fort, »dieser Wüstencharakter ist doch nur eine lokale, in der Bodenbeschaffenheit begründete, keine allgemeine klimatische Erscheinung gewesen, die sich doch über größere Gebiete hätte erstrecken müssen«[2]).

Auffallender Weise finden wir nun dieselben Erscheinungen wie in der Umgebung der Sächsischen Schweiz in der Umgebung des Pfälzer Waldes wieder. Im NW. des Felsengebietes, am Landstuhler Bruch, treffen wir Dünensande und vom Wind geschliffene und polierte Kantensteine, die teils aus Quarzen und Quarziten des Diluviums, teils aus Karneolen des Buntsandsteins hervorgegangen sind[3]). Die an primärer Stätte auf eine wenig mächtige Bank im Buntsandstein beschränkten Karneole häufen sich stellenweise (Königsbruchhof am Kehrberg-Vorberghang) so, daß Reis von einer Karneol- und Quarz-Kieswüste spricht, und man mit ihm das Vorkommen als Rückstände des Gehängeschuttes auffassen muß, die mit diluvialen Kiesen vermischt sind. Sowohl Karneole wie Kiesel sind Kantensteine und windpoliert. Die sandigen Verwitterungsrückstände des Buntsandsteins und die Sande der Diluvialablagerungen sind offenbar ausgeblasen[4]).

Die Flugsande treten an zahlreichen Stellen mit jungdiluvialen

---

[1]) Ebenda.

[2]) Die Felsbildungen usw. S. 609ff.

[3]) Reis, Die westpfälzische Moorniederung. Geogn. Jahreshefte 1899, Erläut.-Blatt Zweibrücken S. 153.

[4]) Vgl. auch Häberle: Windkanter aus der westpfälzischen Moorniederung. Oberrhein. geol. V. 1909.

Ablagerungen in Berührung, in der Weise, daß sie ihnen entweder angelagert sind, oder sie auch bedecken. Sie sind also jünger als diese. Sie und die sie an vielen Stellen unterteufenden Karneol- und Kies-Geröllablagerungen sind aber älter als das Landstuhler Bruch, da ihnen entsprechende, allerdings unter dem Einfluß des Moorwassers gebleichte Ablagerungen das Bruch unterteufen. Am Rande des Bruchs gehen vielfach die gebleichten in die ungebleichten Ablagerungen über. Da das Bruch alluvialer Entstehung ist, ist die Bildung der Kantensteine und Flugsande an die Grenze von Diluvium und Alluvium zu setzen.

Auch im Pfälzer Wald selbst gibt es Ablagerungen, die auf Bildung unter trockenerem Klima schließen lassen, und deren Bildungszeit ebenfalls an die Grenze von Diluvium und Alluvium zu stellen ist. Im breiten Talkessel des Saarbachs[1]) bei Ludwigswinkel z. B. liegt Diluvium, Flugsand und Torf[2]). Bedeutender sind die Flugsandablagerungen des dem Pfälzer Wald vorgelagerten Teiles der Mittelrheinischen Tiefebene. Auf große Strecken hin bildet hier der Flugsand mit Kantengeschieben den Untergrund der Waldgebiete oder liegt noch offen und fast ohne Vegetationsdecke da, so in der Umgegend von Schifferstadt, im Streitwald nördlich Speyer, in der Gegend westlich von Germersheim und an vielen anderen Stellen[3]). Gümbel[4]) hielt den Flugsand für eine ganz junge Bildung, während Reis[5]) angibt, daß das alluviale »Rheintal« sie gleichzeitig mit den Niederterrassenschottern angeschnitten habe. Wie in der Niederung des Landstuhler Bruchs haben sich in den alten Rheinbuchten und Rheinläufen stellenweise Torflager über den Flugsanden bilden können und beweisen so, daß auch dort die Flugsande keine ganz rezente Bildung sind.

Das Einsetzen von Vegetation über Flugsanden ist kein plötzlicher Vorgang. An einigen Stellen im Rheintal zeigen sich noch jetzt bis 1,5 m hohe Wanderdünen. Wegen der großen Durchlässigkeit für Wasser ist sogar für den Menschen die Festlegung von Flugsanden durch eine Pflanzendecke ein äußerst schwieriges und häufig nicht von dauerndem Erfolg gekröntes Unternehmen. Auch durch Feuchterwerden des Klimas können daher einmal vorhandene Flugsande nicht sofort festgelegt werden. Verhältnismäßig leicht siedeln sich auf den Sanden dann Pflanzen an, wenn sie dauernd mehr oder minder durchfeuchtet sind, wie es ja auch, nach der Moorbildung zu schließen im Landstuhler Bruch und in der Rheinebene der Fall war. Daß in den nur wenig über dem Rheinspiegel gelegenen Rheinläufen Pflanzenbesiedelung möglich war, läßt sich vielleicht auch ohne die Annahme eines Feuchterwerdens des Klimas erklären. Allerdings bleibt dann unklar, warum sich nicht

---

[1]) Auf der Grenze der Blätter Zweibrücken und Speyer. (Nicht zu verwechseln mit dem Fluß gleichen Namens).

[2]) Reis, Die westpfälzische Moorniederung, S. 37.

[3]) Auf Blatt Speyer als q3 eingetragen.

[4]) Erl. Blatt Speyer S. 76.

[5]) a. a. O. S. 36.

immer wieder neue Flugsande aus den diluvialen Ablagerungen, in denen ja noch genug Sand steckt, und aus dem Buntsandstein hätten bilden können. Anders liegt es beim Landstuhler Bruch. Man könnte vielleicht annehmen, daß hier die Feuchtigkeit von einem in die vorher trockene Niederung abgelenkten Wasserlauf stammt, oder daß ein früher die Niederung in schmalem Lauf durchströmendes Wasser gestaut wurde. In Wirklichkeit durchströmt aber kein einheitlicher Wasserlauf die Niederung, wie man es erwarten müßte; im Gegenteil fließen Bäche nach verschiedenen Richtungen aus ihm ab[1]), so daß man die durch den Beginn der Moorbildung angezeigte Durchtränkung mit Wasser nur auf allgemeine Umstände, also wohl auf ein Feuchterwerden des Klimas zurückführen kann. Wir müssen also für die Pfalz für die Übergangszeit von Diluvium zu Alluvium ein wesentlich trockeneres Klima annehmen, als jetzt dort herrscht.

Damit wird man versucht, die merkwürdigen Felsbildungen als unter diesem Klima gebildet anzusehen. Eine andere Frage ist allerdings, ob die Felsformen zu dieser wahrscheinlich nur kurzen Zeit der Trockenheit entstehen, und, falls das der Fall, ob sie sich dann bis jetzt hätten erhalten können.

Die größeren Täler haben am Ende der Diluvialzeit im wesentlichen dasselbe Aussehen gehabt wie jetzt; insbesondere war ihre Tiefe ungefähr die gleiche. Die Wirkungen eines etwaigen trockenen Klimas hätten sich also nur auf die Ausmodelierung der in der Anlage bereits vorhandenen Bergformen, insbesondere auf die Herausarbeitung der Felsen zu beschränken brauchen. In dem weichen Sandstein konnten in dem Zeitraum, in dem sich die Sandablagerungen mit ihren Kantensteinen bildeten, die trockene Verwitterung außerordentlich zerstörende Wirkungen ausüben. Ich glaube daher, daß die Zeit der Trockenheit genügt hätte, die jetzigen Formen herauszumodellieren. Eine andere Frage ist, ob sich in der Haardt die damals gebildeten Formen bis auf unsere Zeit hätten halten können oder nicht.

Manche Felsen ragen ohne Sockel aus ebener Umgebung, bei anderen sieht man manchmal am Fuße einen nicht unbedeutenden Sandhang, oder man bemerkt sogar kleine Häufchen und Hängchen frischen Sandes, die auf eine starke Zerstörung in der Jetztzeit hinweisen. Häberle[2]) konnte den Betrag der Abtragung für einen Fall sogar für eine bestimmte kurze Zeit zahlenmäßig feststellen. Wir können und müssen uns daher vorstellen, daß manche Felsen noch vor kurzer Zeit höher und breiter waren als jetzt. Aber auch unter der jetzt herrschenden Art der Verwitterung konnte der einmal erworbene Steilhang nicht plötzlich verschwinden, sondern nur nach rückwärts verlegt werden. Die Felsbildungen haben daher trotz der jetzigen Verhältnisse ihre Form

[1]) Vgl. Blatt Zweibrücken.

[2]) Häberle, Zur Messung der Fortschritte von Erosion und Denudation. Neues Jahrb. f. Min. usw., 1907, Bd. I, S. 7—12.

im wesentlichen bewahrt. Die Felsen ohne Sockelhang dagegen scheinen sich seit längerer Zeit kaum verändert zu haben.

Das Resultat der Untersuchung über die Felsformen des Pfälzer Waldes ist also kurz folgendes: Formen, wie wir sie sonst nur in der Wüste zu finden gewohnt sind, kommen in einem Gebiete vor, das vor kurzer Zeit ein trockenes Klima hatte[1]). Die seitdem verflossene Zeit ist so kurz, daß diese Formen, bei Annahme der Entstehung unter trockenem Klima, sich nicht hätten verwischen können.

Daß allerdings diese Formen sich unter diesem Klima gebildet haben, läßt sich nicht direkt beweisen, hat aber wegen ihres sonstigen Vorkommens unter trockenem Klima eine gewisse Wahrscheinlichkeit für sich. Daß auch die Verhältnisse in der Sächsischen Schweiz nicht wesentlich anders liegen, ist oben angedeutet[2]). Immerhin ist in Betracht zu ziehen, daß sie in anderen Sandsteingegenden Deutschlands fehlen. In erster Linie wird man daher die Felsbildung auf die besondere Beschaffenheit des Sandsteins den Wechsel widerstandsfähigerer mit weniger widerstandsfähigen Schichten zurückführen.

Schließlich seien noch kurz die Täler mit Blindenden und steilen Seitenhängen erwähnt. Es ist wieder die Pfalz und die sich südlich und südwestlich anschließenden Gebiete, wo sie in großer Zahl zu finden sind. Wo z. B. das Saartal Oberen Buntsandstein angeschnitten hat, sehen wir in die Zwischenschichten mehrere Kilometer lange Seitentäler einschneiden, die bis zu ihrem Ende sich nur wenig über das Niveau des Saartals erheben; allerdings findet sich manchmal eine kleine Stufe kurz hinter dem Eintritt in das Haupttal. Die Täler enden plötzlich mit einem steilen Hang, der bis an den Volziensandstein oder gar bis an den Unteren Muschelkalk hinaufreicht. Beständig fließendes Wasser ist in diesen Tälern nur selten vorhanden. Eine auffallende Erscheinung ist, daß, wie erwähnt, mehrere dieser Täler, so z. B. im Stiftswalde zu St. Arnual bei Saarbrücken, da, wo sie eine etwa 10 m über dem Saartal liegende Terrasse durchschneiden, also kurz vor ihrem Eintritt in das Haupttal, sich etwas verengen und etwas steileres Gefälle haben. Ich möchte die Täler mit dieser Eigentümlichkeit als vor der Bildung der Terrasse entstanden auffassen.

Die Täler mit Blindenden sind am häufigsten in den Zwischenschichten, im mittleren Buntsandstein treten sie nur gelegentlich einmal auf. Man darf daraus wohl schließen, daß sie meist durch eine besondere

---

[1]) Bei dem trockenen Klima braucht man natürlich nicht an ein Klima zu denken, wie es etwa die Lybische Wüste hat. Die Trockenheit mit der in ihrem Gefolge stehenden Vegetationsarmut, der starken Bestrahlung und dem schroffen Wechsel von Warm und Kalt, nicht die mittlere Jahrestemperatur ist das Ausschlaggebende.

[2]) Nur kurz will ich erwähnen, daß ähnliche Formen allerdings auch an Küsten mit starker Brandung vorkommen, wo ja mutatis mutandis das Wasser eine ähnliche Rolle spielt, wie der Wind in trockenen Gebieten. Daß hieran beim Pfälzer Wald nicht zu denken ist, bedarf keiner Ausführung.

Eigentümlichkeit bedingt sind, die vielleicht in der härteren Schutzdecke des Voltziensandsteins über den weicheren Zwischenschichten zu suchen ist. Das steht auch in Einklang mit der Anschauung von Davis[1]): »Wenn ein Tal einen Strom von einem Hochland her empfängt, wird der Talschluß relativ schnell zurückgeschnitten werden, viel schneller, als die Talseitenwände durch Verwitterung zurückweichen, und deshalb wird ein solcher Talschluß in einem scharfen Winkel enden, besonders dann, wenn ein guter Stufenbildner in der Nähe des Hochlandniveaus vorkommt.« In der Tat finden wir auch in der Wüste die Art von Tälern mit Blindenden, die wir als für sie charakteristisch ansehen, nur in horizontal (oder annähernd horizontal) gelagerten Schichten, denen eine festere Schutzdecke aufliegt. Liegen die Schichten anders, oder handelt es sich um Massengesteine, so entstehen völlig andere Talformen[2]). An der Saar scheinen die Talböden der Täler mit Blindenden teils jungdiluviales, teils alluviales Alter zu haben. Beweise für Entstehung unter einem trockeneren Klima lassen sich nicht finden; im Gegenteil glaube ich, daß diese Talformen auf ganz andere Ursachen zurückzuführen sind, die ich oben angedeutet habe. Als Privileg der Wüste wird man sie wohl kaum ansehen dürfen.

Zweck der vorliegenden Zeilen war, zu zeigen, daß nicht alle Formen, die wir als Wüstenformen anzusehen gewöhnt sind, wirklich nur unter trockenem Klima entstehen, daß teils ähnliche Erscheinungen durch verschiedene Ursachen hervorgerufen werden, teils die »Wüstenformen« nicht an die Wüste gebunden sind. Man darf daher nicht aus dem Vorkommen einzelner »Wüstenformen« unter feuchterem Klima auf ehemaliges trockneres Klima schließen. Diesen Schluß darf man nur ziehen, wenn mehrere Umstände zusammenkommen. Für den Übergang vom Diluvium zum Alluvium scheint er mir vielleicht berechtigt zu sein. Nicht nur — ganz abgesehen von den Beweisen der Pflanzengeographie — finden wir in der Haardt und ihrer Nachbarschaft und in der Sächsischen Schweiz die mannigfachsten Anzeichen trockenen Klimas, sondern auch in den jüngsten Schichten des Norddeutschen Diluviums sind Flugsande und Kantensteine weit verbreitet[3]). Wir sehen auch[4]), »daß sich vom Granitfelsen der Louisenburg im Fichtelgebirge große bauchige Schalen ablösen lassen, genau wie in den Halbwüsten von Texas und dem ätiopischen Gebirge; wir sehen die von abgetragenen Braunkohlensanden zurückgebliebenen Knollensteine nicht nur mit typischen Sandschliffen bedeckt, sondern oberflächlich gebräunt, genau wie der nubische Sandstein mit brauner Schutzrinde bedeckt ist.«

---

[1]) Die erklärende Beschreibung der Landformen, S. 237.

[2]) Vgl. z. B. bei Walther a. a. O. die Abbildungen 3, 4, 5, 74, 91.

[3]) G. Berendt, Geschiebedreikanter oder Pyramidalgeschiebe? Jahrb. Geol. Landesanst. 1884, S. 205.

[4]) Walther a. a. O. S. 321.