Zeitschrift
der
Deutschen Geologischen Gesellschaft.

B. Monatsberichte.

Nr. 6/7. 1920.

Bericht über die Sitzung vom 2. Juni 1920.

Vorsitzender: Herr Pompeckj.

Der Gesellschaft wünschen als Mitglieder beizutreten:

Herr cand. geol. Ludwig Rüger in Heidelberg, vorgeschlagen von den Herren Salomon, Ratzel und Joh. Böhm.

Herr Markscheider Otto Lorenz in Waldenburg (Schlesien), vorgeschlagen von den Herren Zimmermann I, Ullrich und Bärtling.

Herr Bergwerksdirektor Karl Eickelberg in Haus Rünthe, Kreis Hamm,

Herr Dipl.-Ing. Hans Barking in Hamborn a. Rhein,

Herr Bergrevierbeamter Bergrat Max Trainer in Wattenscheid,

Herr Markscheider und Landmesser Fritz Schulz in Essen a. d. Ruhr,

Herr Bergwerksdirektor Spindler in Essen a. d. Ruhr,

Herr Markscheider und ordentlicher Lehrer an der Bergschule Wilh. Löhr in Bochum,

vorgeschlagen von den Herren Krusch, Fremdling und Bärtling.

Naturwissenschaftlicher Verein in Elberfeld, vorgeschlagen von den Herren Paeckelmann, Dienst und Bärtling.

Geologische Gesellschaft zu Essen, vorgeschlagen von den Herren Löscher, Pompeckj und Bärtling.

Herr Streinbruchbesitzer Fritz Tyroff in Kettwig vor der Brücke, vorgeschlagen von den Herren Löscher, Wunstorf und Bärtling.

Herr Generaldirektor der Hallischen Pfännerschaft A.-G. Max Zell in Halle a. S., vorgeschlagen von den Herren Krusch, Barsch und Bärtling.

Herr Markscheider Fritz Janus in Homberg a. Rh., vorgeschlagen von den Herren Fremdling, Wunstorf und Bärtling.

Herr Bergrat Heinrich Mehner in Schlachtensee (Wannseebahn),

Hessische Oberbergbehörde in Darmstadt,

vorgeschlagen von den Herren Krusch, Picard und Bärtling.

Herr konzessionierter Markscheider Wilhelm Müller in Ibbenbüren, vorgeschlagen von den Herren Brück, Fremdling und Bärtling.

Herr Geologe der Mines de Pechelbronn Dr. Carl Hoffmann in Hagenau (Elsaß), vorgeschlagen von den Herren v. Stromer, Broili und Boden.

Herr Bergassessor v. Oheimb in Berlin, vorgeschlagen von den Herren Beyschlag, Krusch und Schneider.

Herr Professor Braun in Greifswald, vorgeschlagen von den Herren Jaekel, v. Bülow und Philipp.

Herr Dipl.-Ing. F. Weiske in Freiberg i. Sa., vorgeschlagen von den Herren Stutzer, Kolbeck und Schreiter.

Herr cand. geol. Wilhelm Credner in Greifswald, vorgeschlagen von den Herren Jaekel, v. Bülow und Dienst.

Der Vorsitzende erklärt die Vorgeschlagenen unter Zustimmung der Versammlung für aufgenommen.

Der Vorsitzende legt die als Geschenk eingegangene Literatur vor.

Herr **KEILHACK** spricht über

Das Rätsel der Lößbildung.

(Mit 1 Textfigur.)

Seit vielen Jahren und in den verschiedensten Teilen Europas mit den Ablagerungen der Lößformation vertraut, habe ich immer mehr die Erkenntnis gewonnen, daß die Sicherheit, mit welcher unsere Lehrbücher sich zur Frage der Entstehung des Löß und seiner Herkunft äußern, im umgekehrten Verhältnis zu ihrer Begründung steht und zu leicht dahin führen kann, die heute herrschende Lehr-

meinung zum Dogma erstarren zu lassen und weiteren Fortschritten der Erkenntnis hemmend im Wege zu stehen. Zwar ist gerade in den letzten Jahren eine ganze Anzahl von Arbeiten erschienen, die sich mit dem Löß beschäftigen, aber sie behandeln seine genaue Altersstellung und sein Verhältnis zu Eiszeiten und paläolithischen Kulturen, ohne auf seine Herkunft und Entstehung einzugehen. (Wiegers, Sörgel, Hilber, Geyer, Gutzwiller, Menzel.)

Ich habe kürzlich (Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. 1919) versucht, durch eine bildliche Darstellung der Nordgrenze des Löß eine der seit A. Pencks Jugendtagen umgehenden Legenden der Lößablagerung, seine von ihm behaupteten gesetzmäßigen Beziehungen zu den Ablagerungen der verschiedenen Eiszeiten, zu zerstören und durch die Erkenntnis der völligen Unabhängigkeit seiner Verbreitung von der der Glazialablagerungen zu ersetzen. Diese Karte hat mich dann zu dem Versuch angeregt, eine Darstellung der Verbreitung des Löß auf der Gesamterde zu versuchen. Ein solcher läßt sich für Europa gut durchführen, aber für Asien und Amerika ergeben sich so viele Schwierigkeiten, daß die Darstellung auf der beigegebenen Weltkarte für diese beiden Erdteile in Zukunft noch erhebliche Verbesserungen erfahren wird. Ich bitte, sie als einen ersten Versuch nachsichtig zu beurteilen.

Als Unterlage dient die in stereographischer Projektion ausgeführte Netzkarte der geplanten geologischen Erdkarte, in welcher die Landzonen in winkeltreuer, aber nur im mittleren Teil der Karte in flächentreuer Projektion wiedergegeben sind. Die Lößgebiete der Erde sind darin mit Punktierung, die beiden großen kontinentalen und das südamerikanische und alpine Vergletscherungsgebiet durch Schraffierung dargestellt. Für die Flächenberechnung diente eine zweite Ausführung der Karte auf mehreren Unterlagen mit flächentreuer Projektion.

Die Schwierigkeiten des Lößproblems, ja man kann wohl sagen des Lößrätsels, liegen in folgenden fünf Umständen:

1. in seiner geographischen Verbreitung,
2. in seiner ganz ungeheuerlichen Masse,
3. in der Beschränktheit seines Vorkommens auf einen winzig kleinen Abschnitt der Erdgeschichte,
4. in der Gleichmäßigkeit und Merkwürdigkeit seiner Zusammensetzung,
5. in der Schwierigkeit, sein Ursprungs- und Ausgangsmaterial festzustellen.

1. Die geographische Verbreitung des Löß.

Die Karte zeigt auf den ersten Blick, daß der Löß auf der nördlichen und südlichen Halbkugel der Erde auftritt, daß er die kalte und heiße Zone meidet und im allgemeinen auf die gemäßigten Gürtel der Erde beschränkt ist. In der nördlichen Hälfte der Erde tritt er zirkumpolar auf. In Europa reicht er vom Gestade des Atlantischen Ozeans in Frankreich durch Belgien, die Schweiz, Deutschland, Österreich, Ungarn, die nördlichen Balkanländer und die Südhälfte Rußlands lückenlos bis an die Grenzen Asiens, und in diesem Erdteil verläuft er ebenso gleichmäßig durch Südsibirien, Persien, Afghanistan, Tibet und China bis zur Küste des Stillen Ozeans. Seine Nordgrenze verläuft durch Eurasien, ohne an eine natürliche Linie gebunden zu sein, mitten durch weite Flachländer zwischen dem 52. und 56. Breitengrad und biegt erst in der Mongolei scharf nach Süden zum Gelben Meer um. Ganz anders die Südgrenze! Sie wird durch die jungen Kettengebirge bedingt, durch Alpen, Balkan, Kaukasus und durch die zentralasiatische Fortsetzung dieser tertiären Faltengebirge. So scharf ist diese Grenze, daß südlich von ihr, in Spanien, Italien und in der Türkei, in Griechenland, in Anatolien und Armenien bisher noch nie die geringste Spur von Löß gefunden ist*). Wie läßt sich das durch die herrschende Löß-Hypothese erklären? Haben nicht auch diese Länder ein trockenes Klima besessen? Haben nicht auch in ihnen die Stürme den terrestrischen Staub aufnehmen, forttragen und wieder ablagern können? Warum ist das nicht geschehen?

Die geographische Breite, die der Löß in Asien erreicht, nimmt gegenüber Europa ab; während sich hier die Südgrenze zwischen dem 42. und 46. Breitengrad bewegt, geht sie in Asien unter den 40. Grad und senkt sich nach v. Richthofens Angabe stellenweise unter den 34. Grad herab.

Schwierig ist das Ziehen der Nord- und Südgrenze des Löß in Amerika, da für diese weiten Lößgebiete nur allgemeine Angaben und keinerlei Kartendarstellungen vorliegen. In Nordamerika erfüllt er das ganze Mississippibecken im weiteren Sinne vom Mexikanischen Golf bis hinauf in die Staaten Dakota und Wisconsin. Östlich der Alleghanies soll er bis zur atlantischen Küste fehlen. Da

---

*) Neuerdings hat P. Range ein größeres Lößvorkommen im südlichen Palästina erwähnt.

Verbreitungsgebiete des Löß und des Glazialdiluviums.

aber die geologischen Karten dieser Gebiete mehrfach mit Lehm bedeckte Flußterrassen angeben, so ist es nicht unwahrscheinlich, daß er in verlehmter Form auch in diesen Gebieten sich findet. Ferner ist er in den großen abflußlosen Gebieten zwischen dem Felsengebirge und der Sierra Nevada verbreitet und reicht von hier aus nach Süden bis in das nördliche Mexiko.

In Südamerika verläuft die Nordgrenze der Pampasformation oder des Löß durch Bolivien und das südliche Brasilien etwa unter dem 20. Breitengrad, die Südgrenze 20° südlicher am Nordrande der patagonischen Glaziallandschaft etwa zwischen dem 40. und 42. Breitengrad.

Wir sahen, daß auf der nördlichen Halbkugel der Löß zirkumpolar auftritt; auf der südlichen ist die Kenntnis seines Vorkommens bisher auf Amerika beschränkt. Südafrika reicht vielleicht nicht weit genug nach Süden hinunter, um einen Anteil an dem südlichen Lößgürtel zu besitzen, dagegen müßte im Falle eines erdumspannenden südlichen Lößgürtels in weiten Gebieten Australiens der Löß sich finden. Bisher ist davon nichts bekannt; daran braucht aber nicht sein Fehlen Schuld zu tragen, vielmehr kann er sich hier unter einer anderen Bezeichnung verstecken und noch nicht erkannt sein. Ich darf wohl in dieser Beziehung daran erinnern, daß der so außerordentlich verbreitete und mächtige belgische Löß bis in die 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts nicht als Löß erkannt war, sondern als Limon hesbayen für eine Belgien eigentümliche Bildung galt. Ähnlich könnte es auch in Australien bestellt sein.

Der Löß kennt keine Grenzen in seiner senkrechten Verbreitung. Solange man in Deutschland das Lößproblem nur vom engen örtlichen Gesichtspunkt aus anfaßte, konnte man wohl die Behauptung aussprechen, er ginge im Gebirge nicht über 300, höchstens 400 m Meereshöhe empor. Das gilt aber nur für Westeuropa, d. h. Frankreich, Belgien, Deutschland und die Schweiz. Schon eine Betrachtung der Lößverbreitung in Österreich hätte uns belehren können, denn in den Karpathen steigt er hoch im Gebirge bis zu den Pässen, also über 1200 m empor, und je weiter wir uns nach Osten wenden, um so größere Höhen sehen wir ihn erreichen, bis er in Zentralasien mehrere tausend Meter Meereshöhe erlangt. Auch in Amerika geht er hart vom Meeresspiegel an der Golfküste bis zu 2000 m Meereshöhe, da, wo die weiten Steppen der Weststaaten in Colorado und Dakota an das Felsengebirge grenzen.

Aus der Eigenart der Flächen- und Höhenverbreitung des Löß ergibt sich eine Anzahl neuer Rätsel und Fragen: Wodurch ist die Verbreitung des Löß auf zwei große, im allgemeinen der gemäßigten Zone angehörende Gürtel der Erde beschränkt? Warum fehlt er in dem gesamten Zwischengebiet? Was hat ihn verhindert, auch auf der nördlichen Halbkugel über die warme gemäßigte und über Teile der subtropischen Zone sich auszudehnen, da deren klimatische Bedingungen doch in Amerika weder auf der nördlichen, noch auf der südlichen Halbkugel ihn verhindern konnten, von ihr Besitz zu ergreifen? Welche Gründe kann man dafür annehmen, daß der Löß in Osteuropa die Gebirge hoch hinaus bedeckt, während er sie in Westeuropa sorgsam meidet? Darf man überhaupt von einem Einfluß klimatischer Faktoren auf die Lößbildung sprechen, wenn man sieht, wie er, unabhängig von der mittleren Jahrestemperatur, der Meereshöhe und den Niederschlägen, sowohl im subtropischen regenreichen Gürtel Amerikas als auch in den eisigen, trockenen Hochflächen Innerasiens in 4000 m Meereshöhe in geschlossenen Becken auftritt? Soviel Fragen, soviel Rätsel!

2. Die Größe der Lößgebiete und die Masse des Löß.

Wenn ich den Versuch mache, eine Massenberechnung des auf der Erde vorhandenen Löß auszuführen, so brauche ich kaum vorauszuschicken, daß es sich dabei nicht darum handeln kann, einen absoluten Wert zu erlangen, sondern nur um die Gewinnung eines Mindestwertes, der geeignet ist, uns eine Vorstellung von der ungeheuren Masse des gelben Lößgesteins zu geben. Zu einer solchen Zahl kommen wir, wenn wir Werte für die vom Löß eingenommenen Gebiete und für seine mittlere Mächtigkeit zu erlangen vermögen.

a) Die Oberfläche der vom Löß eingenommenen Gebiete.

Durch Pantographieren der auf einer Erdkarte mit flächentreuer Projektion eingetragenen Verbreitungsgebiete des Löß lassen sich für die drei Einzelflächen folgende Werte in km² ermitteln:

Europäisch-asiatisches Gebiet	16 000 000 km²
Nordamerikanisches Gebiet	5 000 000 „
Südamerikanisches Gebiet	5 000 000 „

Das ergibt eine Gesamtfläche von 26 000 000 km².

Zum besseren Verständnis dieser Zahl sei als Vergleichswert die Größe Gesamteuropas mit 9,7 Mill. km² danebengestellt. Nun ist ja nur ein Teil der Flächen, die wir als Lößgebiete geschlossen dargestellt haben, von Löß bedeckt, ein anderer Teil lößfrei. In welchem Zahlenverhältnis beide zueinander stehen, läßt sich nur durch Schätzung ermitteln. Für eine solche aber dürfen wir nicht die uns am besten bekannten Verhältnisse Westeuropas zugrunde legen. Wohl haben wir auch hier recht große Gebiete, in denen der Löß geschlossene Decken von Hunderten von km² Größe bildet; ich nenne von Westen nach Osten das mittlere Belgien, das Niederrheingebiet, die Magdeburger Börde und ihre südliche Fortsetzung in der Thüringer Bucht, das nördliche Sachsen, das mittlere Schlesien und endlich das südpolnisch-galizische Tiefland. Im größeren Teil des westeuropäischen Lößgebiets aber nimmt der Löß nur kleine Bruchteile der Gesamtfläche ein. Alles Landgebiet, was über 400 m hinausragt, ist hier lößfrei, aber auch die tiefer gelegenen Gebiete ermangeln vielfach der Lößdecke. Für dieses westeuropäische Lößgebiet werden wir kaum mehr als ein Viertel der Fläche als wirklich lößbedeckt in Anspruch nehmen dürfen. Ganz anders liegen die Verhältnisse, wenn wir uns weiter nach Osten bewegen. Von der unteren Donau in Bulgarien und Rumänien an sehen wir ein geschlossenes Lößgebiet beginnen, welches sich nördlich vom Schwarzen Meer und vom Kaukasus zur Wolga erstreckt und weiter im Norden sich bis an den Ural ausdehnt. In diesen ungeheuren Flächen scheint nach unserer bisherigen Kenntnis der Löß mehr als drei Viertel der Gesamtfläche zu überkleiden, und da das osteuropäische Lößgebiet erheblich größer ist als das westeuropäische, so bildet es für die Annahme, daß in Europa die Hälfte der im Lößgürtel gelegenen Gebiete auch wirklich von Löß bedeckt ist, einen vollkommenen Ausgleich. Noch günstiger für die Annahme, daß mindestens die Hälfte der Flächen innerhalb der Lößzone eine Lößdecke trägt, liegen die Verhältnisse in Asien. Die sibirische Bahn führt von Samara an der Wolga bis Irkutsk am Baikalsee auf eine Länge von 5000 km, mit einer kurzen Unterbrechung durch die Abhänge des Ural, der auf seiner plateauartigen Höhe aber auch wieder Löß trägt, durch ein geschlossenes Lößgebiet, in welchem nur in den Flußtälern eine Unterbrechung der Decke festzustellen ist. Wenn man diese ungeheure, nahezu geschlossene Lößdecke, die sich von Westen nach Osten so weit erstreckt

wie von der Bretagne bis zum Ural, betrachtet und dann die ungeheuren geschlossenen Lößflächen Chinas und Zentralasiens in Betracht zieht, so wird man kaum bezweifeln dürfen, daß in Asien ebenfalls zum mindesten die Hälfte des Lößgürtels auch Löß trägt.

Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse in Nord- und Südamerika. Die gewaltige Ausdehnung der Great Plains im Norden, der Pampas im Süden, die beide geschlossene Lößdecken tragen, und ihr Größenverhältnis zu der Gesamtgröße des Lößgürtels lassen auch für diesen Kontinent einen Quotienten von $1/2$ als Mindestwert der Größe der heute vom Löß eingenommenen Flächen erscheinen.

Danach würden wir also die mit Lößdecken überkleideten Teile der Erde mit mindestens $\frac{26}{2}$ Mill. = 13 Mill. km² in Rechnung zu stellen haben. Wer etwa noch zweifeln möchte, ob diese Zahl nicht doch zu hoch gegriffen ist, den möchte ich darauf aufmerksam machen, daß bei einer Berechnung der Lößflächen der Erde doch auch diejenigen mit in Betracht zu ziehen sind, die nach der Entstehung des Löß ihn wieder durch Abtragung verloren haben. Was an Löß im Bereich stehender und fließender Gewässer zum Absatz gelangte, ging verloren, und die zahllosen Lücken in der heutigen Lößverbreitung sind sicher zum großen Teil auf eine weitgehende Zerstörung des lockeren und leicht beweglichen Gesteins zurückzuführen. Diese verschwundenen Lößmassen dürfen natürlich bei einer Betrachtung des Lößproblems nicht außer acht gelassen werden und bilden einen mehr als ausreichenden Ausgleich für eine etwaige, aber wenig wahrscheinliche Überschätzung der wirklichen Lößflächen.

b) Mittlere Mächtigkeit der Lößdecke.

Wenig anders liegen die Verhältnisse bezüglich der Schätzung der mittleren Mächtigkeit des Löß. Auch hierbei kann es sich nur um Gewinnung eines Mittelwertes handeln, den wir einer Massenberechnung zugrunde legen dürfen. Die Mächtigkeit der Lößdecke ist bekanntlich großen Schwankungen unterworfen, und zwar treten solche Schwankungen schon in kleinen Flächen auf, da er die Unebenheiten der Unterlage ausgleicht, aber selbst eine gleichmäßige Oberfläche besitzt. Neben diesen Schwankungen im kleinen, die dahin führen können, daß auf

einer Fläche von wenigen Hektaren Mächtigkeitsunterschiede von 5 bis 10 m und mehr auftreten, gibt es regionale Mächtigkeitsunterschiede. So besitzt der Löß in Flandern nur eine geringe Mächtigkeit, schwillt in Brabant auf 5 und 10 m an, wächst in der Provinz Lüttich auf 10 bis 15, gelegentlich auch bis auf 20 m, sinkt dann im Rheinland wieder auf unter 10 m, hat in der Börde und in Thüringen meist nur 1 bis 4 m, in Schlesien nur 1 bis 2 m Mächtigkeit. Nur in der Lößinsel des Trebnitzer Katzengebirges schwillt er wieder zu 10 und mehr Metern Mächtigkeit an. So würden wir, wenn wir nur Westeuropa in Betracht ziehen, zu einem verhältnismäßig sehr niedrigen Wert für die mittlere Mächtigkeit des Löß gelangen, zu etwa 3 bis 5 m. Diese Zahl erhöht sich aber beträchtlich, wenn wir Osteuropa betrachten. Schon in Galizien erlangt der Löß bedeutend größere Mächtigkeiten. An der unteren Donau schwillt er zu 30 m Mächtigkeit an. In Beßarabien sind 79 m Löß erbohrt worden. Über seine Mächtigkeit im südlichen und mittleren Rußland sind mir noch keine Zahlen bekannt, doch muß sie auch hier recht bedeutend sein, da nur in den Flußtälern seine Unterlage zutage tritt. Am bedeutendsten ist die Mächtigkeit der Lößbildungen in Asien. Entlang der sibirischen Bahn habe ich nur an ganz wenigen Stellen seine Unterlage gesehen, doch fehlen hier genauere Zahlen. Dagegen wissen wir durch v. Richthofen aus China, daß der Löß hier in ungeheuren Gebieten eine Mächtigkeit von mehreren hundert Metern erlangt. Da auch in dem weiten Mississippibecken Lößmächtigkeiten von 10 m die Regel sein sollen und der Löß der südamerikanischen Pampas kaum dahinter zurückbleiben dürfte, so können wir als mittlere Mächtigkeit für den Löß der ganzen Erde mindestens 10 m in Ansatz bringen. Bergen doch die Lößgebiete Chinas in ihren über 300 m mächtigen Lößdecken so ungeheure Massen, daß man damit allein eine dreißigmal so große Fläche mit einer Lößschicht von 10 m überkleiden könnte. Wir dürfen ferner den schon bei der Flächenermittlung des Löß in Betracht gezogenen Umstand nicht vergessen, daß gewaltige Lößmassen wieder der Erosion und Denudation zum Opfer gefallen und als Flußtrübe in das Meer oder in die Alluvialbildungen der großen Flüsse gewandert sind. Aus allen diesen Gründen sind wir zu der Annahme berechtigt, daß eine mittlere Lößmächtigkeit von ursprünglich 10 m einen Mindestwert darstellt.

c) Gesamtmasse des Löß.

Wir haben die Lößflächen der Erde zu 13 Mill. km², seine Mächtigkeit zu mindestens 10 m ermittelt. Daraus berechnet sich die Lößmasse der Erde zu mindestens 130 000 km³. Um von dieser Masse eine Vorstellung zu gewinnen, müssen wir sie in Vergleichswerte umrechnen. Diese Lößmasse ist groß genug, um ganz Deutschland mit einer Lößdecke von 240 m, ganz Europa (9,7 Mill. km²) mit einer solchen von 13,4 m gleichmäßig zu überkleiden. Mit ihr könnte man die gesamten Festlandsmassen der Erde (139 Mill. km²) mit einer Schicht von immer noch fast 1 m Stärke bedecken. Mit dieser Lößmasse endlich könnte man ein Gebirge gleich den Alpen mit einer mittleren Breite von 100 km und einer mittleren Höhe von 1000 m aufbauen, welches dann eine Länge von 1300 km besitzen, also von Basel bis Memel reichen würde.

Von den beiden größten diluvialen Vergletscherungsgebieten bedecken das amerikanische 13,8 Mill. km², das europäische einschl. der Alpen 6,2 Mill. km². Die mittlere Mächtigkeit der Glazialablagerungen dürfte mit 30 m reichlich hoch angenommen sein. Dann würde sich die Gesamtmasse der Glazialablagerungen zu 20 Mill. × 0,03 = 600 000 km³ ergeben. Die Gesamtmasse der Glazialablagerungen ist demnach nur vier- bis fünfmal so groß wie die des Löß, wobei nicht zu vergessen ist, daß wir bei jenen einen Höchstwert, bei diesem aber einen Mindestwert in Ansatz gebracht haben. Wir werden später noch auf diese Zahlen zurückkommen.

3. Die Beschränkung der Lößbildung auf das Diluvium.

In der ganzen Geschichte der Erde kennen wir nur eine Periode der Lößbildung, das Diluvium. So gründlich wir auch die Gesteine in den voraufgegangenen Zeitabschnitten durchmustern, wir finden unter ihnen keines, welches wir als eine dem Löß gleichende oder aus ihm hervorgegangene Bildung anzuerkennen vermöchten. Auch heute entsteht kein Löß mehr, und die gegenteiligen Ansichten, die gelegentlich ausgesprochen worden sind, haben sich immer wieder als unzutreffend erwiesen. Der Löß ist ein fossiles Gestein und ein Leitgestein der älteren Quartärzeit, des Diluviums oder der Eiszeit. Daraus müssen wir schließen, daß ein kausaler Zusammenhang zwischen der Eiszeit und der Lößbildung besteht. Die

heute herrschende Lehrmeinung sucht diese Kausalitätsfrage in dem Sinne zu lösen, daß sie die Eiszeiten als Ursache, die Lößbildung als Wirkung betrachtet. Sie sagt, daß während der Eiszeit große Gebiete der Erdoberfläche als vegetationslose Wüsten dagelegen und den Stürmen Material geboten hätten, welches von ihnen aufgenommen und in andern Gebieten mit steppenartigem Charakter wieder abgesetzt worden sei. Dann aber erheben sich sofort Schwierigkeiten aus der Beschränkung des Löß auf das Diluvium. Man muß doch zugeben, daß es zu allen Zeiten auf der Erde Wüsten und Steppen gegeben hat, daß zu allen Zeiten die Stürme geweht, den Staub vom Boden aufgehoben, emporgewirbelt, fortgetragen und wieder abgelagert haben. Warum in aller Welt kennen wir keinen Löß aus früheren Formationen? Warum sehen wir heute unter unseren Augen keinen entstehen? Diese Art der Kausalitätsauffassung wirft also nur neue Fragen und Schwierigkeiten auf, ohne irgend eine Lösung zu bringen. Man wird also versuchen müssen, das Kausalitätsverhältnis umzukehren und in der Lößbildung die Ursache der Eiszeiten zu erkennen.

Dieser Weg verspricht eher zum Ziele zu führen, weil dann auch eine andere höchst rätselhafte Erscheinung ihre Erklärung fände, der Umstand nämlich, daß die Lößbildung während des Diluviums sich mehrere Male wiederholt hat und daß jede Lößbildung mit einer Eiszeit oder jede Eiszeit mit einer Lößbildung verknüpft war. Kein Umstand spricht zwingender für ein Kausalitätsverhältnis in dem oben angedeuteten Sinne als diese mehrfach wiederholte Verknüpfung beider Erscheinungen. Besteht aber ein kausaler Zusammenhang, so müssen auch die älteren Eiszeiten der Erde mit Ablagerungen verknüpft sein, die sich mit dem quartären Löß vergleichen lassen, und es wäre der Mühe wert, die Gesteine der permischen Eiszeit daraufhin zu untersuchen, ob sich unter ihnen ein fossiler Löß findet.

4. Zusammensetzung des Löß.

Es gibt auf der Erde kein Sedimentgestein, das bei völlig gleichbleibender Zusammensetzung eine derart ungeheure Ausdehnung besitzt wie der Löß. v. Richthofen war der erste, der darauf aufmerksam machte, daß ein Löß vom Rhein, vom Duklapaß in den Karpathen, von China und von Nordamerika sich absolut nicht unterscheiden

lasse. Ich habe die gleiche Tatsache in Flandern, in der Schweiz, in der Börde, an der unteren Donau, in Südrußland, in Sibirien und Texas feststellen können. Immer ist es dasselbe gelbliche, lockere, zerreibliche Gestein, das in seiner mechanischen Zusammensetzung bei der Schlämmanalyse immer wieder das gleiche Bild liefert:

über 2 mm Kies		— %
von 2—1 mm	Grobsand	0—0,5 %
„ 1—0,5 „		
0,5 —0,2 mm	mittelkörniger Sand	0,5— 3,0 %
0,2 —0,1 „	Feinsand	1,0— 7,0 %
0,1 —0,05 „		8 —40 %
0,05—0,02 „	Staub	50 —65 %
unter 0,02 „	Ton	16 —36 %

und damit die so äußerst bezeichnende Kurve für die verschiedenen Korngrößen der Lößbestandteile.

Unter allen Sedimentgesteinen kehrt diese Kurve nur noch einmal wieder in der mechanischen Zusammensetzung der Schluff- oder Mergelsande. Das Bezeichnende in beiden ist das Vorherrschen der Korngröße von $^1/_{10}$ bis $^1/_{50}$ mm Durchmesser, also des feinen Staubsandes, dem gegenüber die tonigen Bestandteile, ganz besonders aber die gröberen sandigen ungemein zurücktreten.

Nicht weniger auffällig als die mechanische ist die mineralogische Zusammensetzung des Löß. Ein wechselnder, zwischen 10 und 25 % schwankender Kalkgehalt und eine 60—70 % betragende Menge von Quarz bilden die Hauptmasse, der sich dann noch 10—20 % tonerdehaltige Silikate beigesellen. Dem entspricht auch die chemische Analyse, die mit ihrem bei deutschen Lößen durchschnittlich 70 % betragenden Kieselsäuregehalt auf einen hohen Quarzgehalt hinweist. Über die Art des Auftretens des kohlensauren Kalks herrscht noch nicht völlige Klarheit. In den der Oberfläche nahen Teilen und bei geringer Mächtigkeit der Lößdecke scheint er ausschließlich als Überrindung der übrigen Lößgemengteile aufzutreten. Ob dies aber seine ursprüngliche und allgemeine Art des Vorkommens ist, muß zweifelhaft erscheinen. Ich möchte vielmehr annehmen, daß auch er ursprünglich in Körnchenform im Löß vorhanden war, daß er aber in den regelmäßig von den Niederschlägen durchwanderten Teilen der Lößmasse der völligen Auflösung verfiel und beim Verdunsten des Lösungsmittels als Sinter auf den Körnchen und in den Wurzelröhren des Löß wieder angereichert wurde, daß er also einen beweglichen, wandernden Bestandteil des Löß bildet. Dann müßte

man ihn in der Tiefe mächtigerer Lößablagerungen, besonders wo sie unter den Grundwasserspiegel hinabreichen und dadurch vor Auslaugung geschützt sind, noch in seiner ursprünglichen Form antreffen, d. h. in Gestalt von winzigen Körnern.

Quarz und Kalk als Hauptgemengteile des Löß — welch ein Rätsel! Das widerstandsfähigste, der Auflösung unzugänglichste Mineral auf der einen, das leichtest zerstörbare, weder chemisch noch mechanisch widerstandsfähige Mineral auf der andern Seite, bilden sie eine außerordentlich widerspruchsvolle Mischung, deren Entstehung um so schwerer zu erklären ist, als sie sich auf eine winzige engumgrenzte Korngröße beschränkt. Wenn der Löß aus ausgeblasenem irdischem Staube besteht, warum treten dann andere, auf der Erde ebenfalls weit verbreitete Minerale und Gesteine so sehr zurück oder fehlen fast völlig? Wie soll man z. B. das nahezu völlige Fehlen des Glimmers im Löß erklären, wie die Abwesenheit der dunklen eisenreichen Mineralien der Amphibol- und Pyroxen-Gruppe, wie das Fehlen der Schiefergesteine, die doch am Aufbau der Oberfläche einen so großen Anteil besitzen? Wir werden im nächsten Abschnitt noch mehr Rätsel zu erörtern haben.

5. Entstehung und Ausgangsmaterial des Löß.

Die herrschende Lehrmeinung behauptet, der Löß sei das Ergebnis einer Ausblasung der an der Oberfläche lagernden Gesteine und im besondern seien die Glazialbildungen und unter ihnen wieder die Grundmoränen, die Geschiebemergel, die Lieferanten der Lößbildung. Sehen wir, was von diesen Behauptungen einer sachlichen Prüfung standhält.

Wenn wir vom jüngeren Löß ausgehen, der den Löwenanteil der Oberflächenverbreitung für sich in Anspruch nimmt, so müssen wir zunächst feststellen, daß die vielfach schwankenden Ansichten über den Zeitabschnitt seiner Entstehung — ob interglazial, glazial oder postglazial — sich gegenwärtig immer mehr dahin befestigen, ihm besonders auf Grund der in ihm eingeschlossenen Wirbeltierfauna und Kulturen ein glaziales Alter zuzuerkennen und seine Entstehung in den Höhepunkt der letzten Eiszeit, nicht aber in deren Rückzugsphasen zu verlegen. Dann aber war zur Zeit seiner Entstehung von den gesamten Vergletscherungsgebieten der Erde nur ein winziger Bruch-

teil, der äußere Gürtel der älteren Glazialbildungen, frei und der Ausblasung zugänglich. In welchem Zustand aber befand sich dieser äußere Moränengürtel? Er war eine lange Interglazialzeit hindurch der Verwitterung ausgesetzt gewesen und muß dieselben Oberflächenbildungen besessen haben wie die unter den jungen Glazialbildungen verschütteten gleichalten glazialen und fluvioglazialen Sedimente, d. h. er muß bis zu vielen Metern Mächtigkeit entkalkt und verlehmt gewesen sein. Das ist ein unabweislicher Schluß. Es hätte also durch Abblasung erst die ganze, viele Meter mächtige Verwitterungsdecke entfernt werden müssen, ehe dem Winde ein kalkhaltiges Gebilde zur Verfügung stand. Nun könnte man vielleicht sagen, daß in diesem ersten Abschnitt der Ausblasung kalkfreier Schichten als Ablagerungsprodukt die kalkfreien Lößlehme oder Leimen entstanden seien, auf die der Wind dann nach Erreichung des kalkhaltigen Glazials den normalen kalkfreien Löß abgelagert habe. Dem widerspricht aber das Mengenverhältnis beider, denn die Lößlehme treten gegenüber den kalkhaltigen Lößen an Menge außerordentlich zurück, während das Verhältnis gerade umgekehrt sein müßte, oder man käme zu so ungeheuerlichen Mächtigkeiten der durch Winddenudation entfernten und umgelagerten Schichten, daß wohl auch die kühnste Phantasie sich dagegen auflehnen müßte.

Noch auf einem völlig andern Wege kommen wir zu einer Ablehnung der Möglichkeit, den Löß aus den Moränen der älteren Eiszeiten abzuleiten. Wenn man sich nämlich den Vorgang klar macht, der sich bei der Ausblasung der Bodenbestandteile, bei der Auslese der Körner von $^1/_{10}$ bis $^1/_{50}$ mm Durchmesser abgespielt hat, so kann man ihn nur so sich vorstellen: Der Wind hebt seiner Transportfähigkeit ihrer Größenordnung nach entsprechende Bodenteilchen auf und trägt sie fort; alles, was gröber ist, läßt er liegen. Dadurch erfolgt eine Anreicherung der gröberen Bestandteile an der Oberfläche, die schließlich eine schützende Decke über dem Untergrund bilden und diesen den Angriffen des Windes entziehen. Erst wenn von neuem frischer, noch nicht ausgeblasener Boden an die Oberfläche gebracht wird, findet der Wind wieder Material zum Ausblasen vor. Solche Beförderung von Bodenteilen von unten nach oben findet aber fast ausschließlich auf biologischem Wege durch die Tätigkeit von erdbewohnenden niederen Tieren statt, und das Wenden des Bodens

auf diesem Wege geht kaum tiefer als 1 m. Der Wind kann also normal auf ebenen Flächen nicht mehr Staub ausblasen, als in einer Schicht von 1 m Mächtigkeit enthalten ist. In unsern Grundmoränen beträgt die Menge der Teile, die eine zur Lößbildung brauchbare Korngröße besitzen, etwa 30—40 %, d. h. eine bestimmte Grundmoränenfläche könnte das Material für eine ebenso große Lößdecke von 40—50 cm Stärke liefern. Die im Gebiete der alten Moränen ungeheuer überwiegenden Sand- und Kiesbildungen aber scheiden vollständig aus. Nun aber sind die Lößflächen allein in Europa viele Male größer als die freiliegenden Flächen der alten Moränen und die Lößmächtigkeit wieder ein Zehnfaches jener oben gewonnenen Zahl von 30—40 cm, so daß die alten Moränen nicht 1 % der europäischen Lößmassen geliefert haben können. Und woher sollen dann erst die so unvergleichlich viel größeren Lößmassen Asiens gekommen sein?

In Nordamerika liegen die Verhältnisse ein wenig, aber nicht viel günstiger als in Eurasien. Die Ablagerungen des diluvialen Inlandeises müssen wir also ausscheiden, wenn wir nach dem Ausgangsmaterial des Löß suchen. Was bleibt dann übrig? Granite und andere Eruptivgesteine, die kristallinen Schiefer, die paläozoischen Tonschiefer und Grauwacken, die mittelkörnigen und grobkörnigen Sandsteine, sie alle sind gänzlich ungeeignet als Ausgangsmaterial der Lößbildung. So bleiben nur feinkörnige Sandsteine und Kalksteine übrig, die uns den Löß geliefert haben müßten. Wo aber haben wir Sandsteine, die aus einem so feinen Quarzmehl bestehen, wie es uns im Löß entgegentritt, und wo haben wir einen Vorgang, der bei der Verwitterung von Kalksteingebirgen feines Kalkmehl erzeugt? Ich finde für beide Fragen keine Antwort und sehe hier das größte und schwierigste Problem der Lößfrage.

Und nun noch eins: Kalk und Quarz, die beiden Hauptbestandteile des Löß, müssen an ganz verschiedenen Stellen der Erde vom Winde aufgenommen sein, denn wir kennen kein Gestein, in dem sie in der Mengung und Korngröße des Löß zusammen vorkommen, nachdem wir die Glazialbildungen haben ausschalten müssen. Wo aber und auf welche Weise ist dann die erstaunlich gleichmäßige, über die ganze Erde hin keinerlei Abweichungen zeigende Mischung dieser beiden so verschiedenen Bestandteile erfolgt, wie sie uns im Löß heute vorliegt? Können wir

diese Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung in Europa und Asien, in Nord- und Südamerika anders erklären, als daß alle Lößmassen dieser vier gewaltigen Gebiete ihr Material aus dem gleichen großen Mischgefäß bezogen haben? Muß dann nicht die Mischung in sehr bedeutender Höhe erfolgt sein? Dem widerspricht aber die Größe der Lößstaubkörner, die viel zu groß sind, um ein nicht Tage, sondern Jahre und Jahrhunderte dauerndes Schweben in hohen atmosphärischen Schichten zu erlauben. So viele Fragen, so viele gänzlich ungelöste Rätsel!

Von der Erkenntnis oder Wahrscheinlichkeit ausgehend, daß der gesamte irdische Löß ein gleichmäßiges Gemenge ist und ein gemeinsames Reservoir, aus dem die Ablagerung erfolgte, voraussetzt, ist es nur noch ein Schritt bis zum Aufwerfen der Frage, ob denn eine extratellurische, eine kosmische Herkunft des Löß gänzlich ausgeschlossen ist? — Hier haben zunächst wohl die Astronomen das Wort. Ich möchte aber nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, daß durch solche, heute noch etwas kühn erscheinende Annahme manche der von mir oben aufgeworfenen Rätselfragen eine befriedigende Antwort finden, so die Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung, die Unmöglichkeit der Ableitung von irdischen Gesteinen, die Beschränktheit auf das Diluvium, die zonare Verbreitung über die ganze Erde (man denke an die Saturnringe) und die Kausalitätsbeziehung zur Eiszeit.

Zu dem Vortrage sprechen die Herren Koehne, Leppla, Weissermel, Harbort, Solger, Zimmermann I, Werth, Wiegers, Philipp, Pompeckj und der Vortragende.

Herr **WEISSERMEL** führte aus:

Gewiß bieten Wesen und Entstehung des Lösses noch mancherlei Probleme, die keineswegs restlos gelöst sind, einen erheblichen Teil der von Herrn Keilhack angeführten Schwierigkeiten vermag ich aber nicht zu sehen, glaube vielmehr, daß dieselben durch die äolische Lößtheorie eine vollkommene Erklärung finden, wie diese Theorie, nach der der Löß im Zusammenhang mit den klimatischen Verhältnissen der Vereisungen durch Wind entstanden ist, ausgeweht teils aus den Glazialablagerungen, teils (für Osteuropa und Asien) aus anderen Gesteinen, alle Verhältnisse besser erklärt, als alle anderen älteren und neueren Theorieen. Sie erklärt die Beschränkung des Lösses

auf die Diluvialzeit, seine zirkumpolare Lage, besonders an den Rändern der Glazialgebiete, sie erklärt für Europa seine Beschränkung auf die Nordseite der großen Kettengebirge, die eine natürliche Schranke für die Transportprodukte der Eisföhne bildeten, sie erklärt ferner, wie sogleich näher ausgeführt werden soll, die Zusammensetzung des Lösses in genügender Weise.

Herr Keilhack sieht eine Schwierigkeit für jede terrestre Ableitung des Lößmaterials in dessen großer Gleichartigkeit über die ganze Erde. Ob eine solche tatsächlich besteht, ist aber noch gar nicht festgestellt, da über die petrographische Zusammensetzung des Lösses meines Wissens Untersuchungen nur aus beschränkten Gebieten vorliegen. Die gröberen, mit dem bloßen Auge und der Lupe erkennbaren Bestandteile spiegeln nach meinen langjährigen Beobachtungen im mitteldeutschen Lößgebiet, die durch eine Bereisung des gesamten rheinischen Lößgebietes ergänzt worden sind, lokale Einflüsse aufs deutlichste wider.

Herr Keilhack weist darauf hin, daß die Grundmoräne durch Auswehung größere Lößmassen nicht liefern könne, da sie zu tonig sei, ferner aber müsse bei Auswehung des Feinmaterials der Oberschicht in dieser sich das gröbere anreichern und eine Schutzschicht für die tieferen Teile bilden und so die Auswehung bald zum Stillstand kommen. Für die normale lehmige Grundmoräne kann diese Erwägung als zutreffend anerkannt werden, ich möchte aber darauf hinweisen, daß heute der größte Teil der norddeutschen Grundmoränenflächen eine lehmig-sandige Oberkrume hat, und ich möchte zur Erwägung geben, ob dieser Zustand der im allgemeinen für sekundär durch Ausschlämmung entstanden angesehen wird, nicht größtenteils ein primärer ist, veranlaßt durch schleierartige Überdeckung der Grundmoräne durch mehr sandiges Innenmoränenmaterial. Die Beobachtung, daß vielfach die lehmig-sandige Deckschicht nicht nur auf dem echten Geschiebemergel liegt, sondern auch über dessen sandige Vertreter hinweggeht[1]), veranlaßt mich zu diesem Gedanken. Das Hauptmuttergestein des Lösses dürfte aber gar nicht im Geschiebemergel, sondern vielmehr in den großen diluvialen Sandflächen zu suchen sein. Diese sind, wie die weit ver-

---

[1]) Vgl. Erläuterungen zu Blatt Karstädt d. geol. Karte v. Preußen, sowie Bericht über die Aufnahme auf den Blättern Grabow, Balow und Karstädt, Jahrbuch d. Geol. Landesanst., 1900, S. LXII.

breiteten, bis über 20 m hohen Inlandsdünen beweisen, am Schluß der letzten Vereisung in intensivster Weise vom Winde bearbeitet und bis auf erhebliche Tiefen um- und aufgearbeitet worden. Hier hat ein Totlaufen der Auswehung also nicht so bald stattgefunden, und es sind sehr bedeutende Mengen von Sand der Aufarbeitung und Auswehung zugänglich gewesen. In geringerem Maße dürften Geschiebemergel und Kiesflächen an ihrer Oberfläche Lößstaub geliefert haben.

Was die Zusammensetzung des Lösses aus Quarz und reichlichem kohlensauren Kalk bei zurücktretenden anderen Mineralien, und was besonders seinen Kalkreichtum betrifft, so wird diese meines Erachtens durch die äolische Theorie, und zwar durch diese allein, in durchaus befriedigender Weise erklärt. Mit Recht weist Herr Keilhack darauf hin, daß Kalksteine eine chemische, fast gar keine mechanische Verwitterung besitzen, daß sie also unter natürlichen, nicht vom Menschen beeinflußten Bedingungen keinen Staub liefern, der Kalkgehalt des Lösses von ihnen also nicht abgeleitet werden kann. Daraus folgt aber meines Erachtens, daß dieser aus Gesteinen herstammen muß, in denen Quarz und Kalk sich bereits in inniger mechanischer Mischung befinden, und das findet man in ausgezeichneter Weise in den Glazialablagerungen. Eine gewisse Schwierigkeit liegt nur in dem verhältnismäßig hohen Kalkgehalt des Lösses. Doch ist dieser nur unerheblich höher als der durchschnittliche Kalkgehalt des nordischen Geschiebemergels, und wenn er größer ist als der der Glazialsande, so ist zu bedenken, daß diese als äußerst durchlässige Gebilde einer Auslaugung des Kalkes viel mehr ausgesetzt sind als der tonige Mergel und daher einen erheblichen Teil ihres ursprünglichen Kalkgehaltes seit der Glazialzeit bereits eingebüßt haben dürften. Denken wir uns den Löß aus ganz frischen, unverwitterten Glazialablagerungen ausgeweht, so hört sein erheblicher Kalkgehalt auf, uns zu überraschen. Unmöglich ist aber, wie Herr Keilhack mit Recht betont, die Bildung kalkreichen Staubes beim Beginn einer Vereisung, die das Vorland tief verwittert und entkalkt vorfand. Es bestätigt dies die wenigstens für Mitteldeutschland auch aus anderen Erscheinungen sich ergebende Schlußfolgerung, daß der Löß während des Rückzuges des Eises gebildet worden ist.

Als schwerwiegendes Moment gegen die äolische Theorie wird die Form angeführt, in der der Kalk im Löß auf-

tritt, nämlich nicht in Körnern, sondern als dünner Überzug der Quarzkörner. Wie schon von anderer Seite früher hervorgehoben[2]), ist dies als eine sekundäre Erscheinung zu betrachten. Infolge seiner porösen, schwammartigen Beschaffenheit nimmt der Löß alle Niederschläge begierig auf, hält sie aber auch schwammartig fest. Er ist daher zum mindesten an seiner Unterkante feucht, auch nach langer Dürre und über den durchlässigsten Sanden. Darauf beruht ja gerade seine Fruchtbarkeit und seine dem kartierenden Geologen so angenehme leichte Bohrbarkeit. Dieses schwammartig festgehaltene Niederschlagswasser steigt dann in trockenen Zeiten kapillar wieder in die Höhe, um allmählich zu verdunsten. So wird der Löß alljährlich und ständig nicht nur von oben nach unten, sondern, im Gegensatz zu vielen anderen Gesteinen, auch von unten nach oben vom Wasser durchzogen. Dabei mußte der zunächst in feinen Splittern und Körnchen vorhandene Kalk aufgelöst werden. Da das Wasser aber im Löß kapillar festgehalten wird, verläßt er diesen nicht, sondern wechselt in ihm, aufsteigend und absteigend, nur den Ort und fällt beim Austrocknen wieder aus, natürlich als Überzug auf der Oberfläche der Quarzkörner. So muß ein Kalkkorn im Löß sozusagen schon Glück haben, um nicht einmal aufgelöst und dann erst wieder ausgeschieden zu werden.

So erklärt die Annahme einer äolisch-glazialen Entstehung meines Erachtens alle Verhältnisse des Lösses, wenigstens soweit er in der Umgebung der großen Glazialgebiete liegt, am besten. Gewiß bleibt im einzelnen noch vieles zu erklären — ich erinnere nur an die auffallend scharfe Lößgrenze in Norddeutschland —, und es bleibt noch ein weiter Spielraum für künftige Forschungen. Wenn wir aber die Quelle des Lösses ins Kosmische verlegen wollen, so verschieben wir damit nur die Schwierigkeiten, wir gehen damit zwar manchen Schwierigkeiten aus dem Wege, tauschen aber andere, größere dafür ein.

Herr **E. ZIMMERMANN I** hält gegenüber den Herren Keilhack und Leppla den Kalkgehalt des Lösses nicht für einen wesentlichen Bestandteil und verweist auf einen von ihm selbst nahe dem Wasserwerk Goldberg bei

---

[2]) Vgl. Wahnschaffe, Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes, II. Aufl., S. 236.

Neuländel an der Katzbach in Schlesien beobachteten Löß, der in bezug auf hellerbsgelbe Farbe, feinstporige, staubig-mürbe, abfärbende Beschaffenheit, senkrechte Absonderung, fehlende oder nur undeutliche Schichtung, Lage am Abhange durchaus einem echten Löß entspricht und gewiß allgemein für einen solchen auf den ersten Blick angesehen werden wird, der aber kalkfrei ist; wobei indessen die überaus helle Farbe und die staubige, unplastische Beschaffenheit durchaus die Auffassung und Bezeichnung als — durch Verwitterung kalkfrei gewordenen — Lößlehm verbietet.

Wenn Keilhack (mit anderen Forschern) den Kalk im Löß ursprünglich in Form von Kalkstaub beigemischt annimmt, der erst nachträglich durch die — je nach der trocknen oder nassen Beschaffenheit der Lößoberfläche — fortdauernd kapillar auf- und absteigende Bodenfeuchtigkeit gelöst und in Form der bekannten zarten Hüllen um die einzelnen Quarzstäubchen wieder ausgeschieden sei, so möchte ich einerseits darauf hinweisen, daß — mir wenigstens — abgesehen etwa von frischem, bei trocknem Frost zerfrierenden und staubig zerfallendem Geschiebemergel kein weitverbreiteter natürlicher Vorgang bekannt ist, bei dem Kalkstaub entsteht und zum äolischen Transport bereitgestellt wird, ich also auch an die ursprüngliche staubförmige Kalkbeimischung in den kalkigen Lössen nicht glauben kann. Andererseits möchte ich die Vermutung zur Erörterung stellen, daß der Kalkgehalt vielleicht erst durch die den Löß durchziehende Feuchtigkeit von unten her, aus anderen Gesteinen (die selbst nur etwas kalkhaltig, nicht kalkreich gewesen zu sein brauchen), zugeführt ist, wenn diese Feuchtigkeit oben, bei dem Steppenklima, das zur Lößzeit herrschte, verdunstete. Die nur mittelleichte Löslichkeit des Kalkes und die primär poröse Beschaffenheit des quarzigen Lößstaubes hatten dabei wohl einen wesentlichen Einfluß. Sie bewirkten nämlich, daß in trocknen Zeiten der aufsteigende Kalk nicht bloß oben, sondern schon in tiefen oder mittleren Teilen der Lößablagerung ausgeschieden werden konnte, andererseits — bei absteigender Feuchtigkeit, in Regenzeiten, auch wieder abwärts wandern konnte. Die oberflächlichen dicken Kalkkrusten in den afrikanischen Kalkpfannen, die auch von aufsteigenden Kalklösungen gebildet sein sollen, sind dagegen vermutlich durch die weniger fein poröse Beschaffenheit ihres Untergrundes bedingt, der eine frühere Verdunstung der Feuchtigkeit, schon unter der Oberfläche, verhinderte.

Die Eisensteinkrusten über dem Laterit, die ja ebenfalls von — infolge oberflächlicher Verdunstung aufwärts wandernden Lösungen gebildet sind, beruhen in ihrer Anhäufung vermutlich darauf, daß das verhältnismäßig schwer lösliche Eisenerz, wenn es einmal bis an die Oberfläche gelangt ist, von dort auch von reichlichen Niederschlägen nicht wieder abwärts geführt werden kann. Den anderen Gegensatz dürften die leicht löslichen Salze Soda, Salpeter usw. machen, die fortwährend schnell wandern und je nach der trocknen oder feuchten Jahreszeit entweder oben ausblühen oder sich schon in mittleren Höhen ausscheiden (dann vermutlich ähnlich dem Kalk im Löß in Form dünner Hüllen um die Bodenbestandteile) oder in größere Tiefen hinabgeführt werden.

Wenn Herr Leppla Löß mit Kalkgehalt sogar bis 36% über kalkfreiem Untergrund als Beweis gegen meine obige Vermutung anführt, so wäre doch zu untersuchen, ob nicht vielleicht an besonderen Rückständen eine ehemals kalkführende Lage im Untergrund nachweisbar ist, deren Kalkgehalt eben nach oben abgewandert und an ihrer Urstätte dadurch völlig aufgezehrt ist.

Wenn oben die Möglichkeit zugegeben ist, daß frischer kalkreicher Geschiebemergel bei trocknem Frost vielleicht ganz und gar zerfrieren könne, und daß dann seine feinsten Bestandteile an Quarz und Kalkstaub fortgetragen und anderswo als Löß abgelagert werden könnten, so scheinen mir doch seine den ungeheuren Lößmassen entsprechenden Massen gröberer und gröbster Rückstände nirgends nachgewiesen zu sein. Bei der gegenseitigen Lage der Löß- zu den Geschiebemergelgebieten würde man dann übrigens, in Norddeutschland wenigstens, nordöstliche bis östliche Winde vorauszusetzen haben. Die gesetzmäßige Ungleichseitigkeit der Lößverbreitung an den Talabhängen, auf die ich vor Jahren hingewiesen habe, würde aber eher für gerade entgegengesetzte Winde sprechen. Und da man für einen Lößwind Trockenheit voraussetzen darf, so könnte man schon auf den Gedanken kommen, daß dieser Lößwind, an die ihm entgegenstehende Stirnfläche des Inlandeises anstoßend, dieses mehr zum trocknen Verdunsten, als zum Schmelzen gebracht und so aus Deutschland fortgeblasen habe.

Jedenfalls — mögen den Löß auch noch manche Rätsel umwittern, für mich ist seine äolische Entstehung noch nicht erschüttert, seine kosmische Herkunft unannehmbar.

Was die Frage „fossiler Lösse" betrifft, d. h. solcher, die älter als diluvial sind, so hat, wenn man in der Herbeiführung des Materials durch Wind das wesentliche Merkmal des Lösses sieht, bekanntlich Ochsenius dem Grauen Salzton, der das unmittelbare Hangende des deutschen permischen Kalisalzlagers bildet, diese Entstehung zugewiesen; ihn müßte man also für einen permischen Löß erklären. Nur dadurch, daß trockner Staub in die letzten Laugenreste geweht wurde, die noch über dem eben entstandenen Kalisalzlager standen, sollten diese vor einer Wiederauflösung durch das neuhereinbrechende Meer geschützt gewesen sein, welches den mächtigen Hauptanhydrit und dann das Jüngere Steinsalz absetzte. Genauere stratigraphische Untersuchungen haben nun zwar ergeben, daß der „Graue Salzton" kein einheitliches Gebilde ist, sondern aus mehreren verschiedenen Schichten besteht, in deren einer ich zuerst sogar marine Versteinerungen nachgewiesen habe. Immerhin verdient aber doch seine unterste Zone einmal petrographisch genauer daraufhin untersucht zu werden, ob man sie als einen fossilen Löß bezeichnen könnte; daß sie sehr stark anhydritisch gebändert ist, braucht dabei nicht irre zu machen. — Auch das „rote massige Tongestein", wie ich die etwa 30 m starke Deckschicht des Jüngeren Steinsalzes genannt habe, könnte bei seiner äußerst unvollkommenen Schichtung und gutenteils feinsandreichen Beschaffenheit als fossile Staubablagerung angesehen werden. Aber auch sie wäre nicht — oder nicht durchaus — subaerisch, sondern, wie die oft massenhaften Trockenrisse zeigen, mindestens zum Teil subaquatisch entstanden; auch wiche sie durch den sehr bedeutenden Tongehalt primär vom Löß ab, während man die dunkle Rotfärbung für eine nachträgliche Veränderung ansehen könnte. Auch diese Schicht, die jetzt an die Basis des Unteren Buntsandsteins gestellt wird, verdiente wohl einmal nach dieser Hinsicht untersucht zu werden. Bohrkerne frischen Gesteins aus zahlreichen Tiefbohrungen bewahrt die Geologische Landesanstalt auf.

Das Protokoll wird verlesen und genehmigt.

v. . w. o.

Pompeckj. Janensch. Bärtling.

Bericht über die Sitzung vom 7. Juli 1920.

Vorsitzender: Herr Pompeckj.

Der Vorsitzende macht Mitteilung vom Ableben des Herrn Seligmann, Koblenz. Die Versammlung erhebt sich zu Ehren des Verstorbenen.

Der Gesellschaft wünschen beizutreten:

Herr konz. Markscheider der Westfälischen Berggewerkschaftskasse Dr. phil. Ludger Mintrop, Bochum, vorgeschlagen von den Herren Krusch, Fremdling und Bärtling.

Herr konz. Markscheider Wilh. Weingardt, Neunkirchen (Saar), vorgeschlagen von den Herren Brück, Fremdling und Bärtling.

Herr Bergwerksdirektor Ernst Middendorf, Nordhausen a. Harz, vorgeschlagen von den Herren Krusch, Barsch und Bärtling.

Herr Inspektions-Markscheider Peter Odermann, Ensdorf a. d. Saar, vorgeschlagen von den Herren Fremdling, Pohlschmidt und Bärtling.

Herr Obersteiger und Bureauvorsteher Rich. Weickardt, Halle a. S.,

Herr konz. Markscheider Friedrich Reiss, Luisenthal (Saar),

Herr Bergwerksdirektor Otto Pohl, Bernburg, vorgeschlagen von den Herren Bärtling, Janensch und Pompeckj.

Herr Markscheider Karl Schroeder, Duisburg-Meiderich, vorgeschlagen von den Herren Fremdling, Wunstorf und Bärtling.

Die Gesellschaft stimmt der Aufnahme zu.

Herr **F. Solger** berichtet über

Beobachtungen über Flugsandbildungen.

(Mit 5 Textfiguren.)

Als ich vor zehn Jahren Europa verließ, um nach Peking zu gehen, hatte ich mich vorher mehrere Jahre lang mit den rezenten Dünenbildungen unserer Küste[1])

---

[1]) Solger, Über Parabeldünen. Diese Zeitschr., Mon.-Ber. **60**. 1908. S. *54—59* und Geologie der Dünen im „Dünenbuch". Verlag v. Encke, Stuttgart, 1910.

und den aus dem Ende der Eiszeit stammenden Dünenbildungen des norddeutschen Binnenlandes[2]) beschäftigt. Ich hatte die letzteren als barchanähnliche Bogendünen aufgefaßt, die ursprünglich von Ostwinden gebildet, dann von Südwestwinden etwas umgeändert worden seien. Während über das Alter der binnenländischen Dünen (älter als die Moorbildungen der norddeutschen Täler) wohl nur noch in Nebenpunkten Zweifel bestehen, hat meine Ostwindtheorie vielfach Widerspruch erfahren, und zwar nach zwei Richtungen: Erstens wurden die Bogenformen, obwohl ich die Unzulässigkeit dieses Vergleiches zwingend begründet zu haben glaubte, mit den Parabeldünen und ähnlichen Bildungen der Küste verglichen[3]), und da diese dem Winde im Gegensatz zu den Barchanen ihre hohle Seite entgegenwenden, wurde der Grundriß der Binnenlanddünen daraufhin Westwinden zugeschrieben. Zweitens wurde darauf hingewiesen, daß viele Dünengebiete am Ostrande von Talsandflächen liegen, und indem ohne hinreichenden Beweis[4]) vorausgesetzt wurde, daß der Sandvorrat aus

---

[2]) Solger, Über interessante Dünenformen in der Mark Brandenburg. Diese Zeitschr., Mon.-Ber. **57**, 1905, S. *179—190*.

— Über fossile Dünenformen im norddeutschen Flachlande. Verh. d. XV. Dtsch. Geogr.-Tgs. z. Danzig. 1905. S. 159—172.

— Studien über nordostdeutsche Inlanddünen. Forschg. z. dtsch. Ld.- u. Volkskde. Bd. **19**. 1910. Heft 1. S. 1—89.

— Neuere Beobachtungen an brandenburgischen Talsanddünen. Diese Zeitschr., Mon.-Ber., 1910, S. *31—40*.

[3]) Z. B. Braun, Ztsch. Ges. f. Erdkde. Berlin 1910. S. 625—627: Behrmann ebda. 1911. S. 59 in Besprechungen meiner Dünenarbeiten. Behrmann versteigt sich zu dem unberechtigten Vorwurf, ich ließe die Parabeldünen-Auffassung nicht zu Worte kommen. Er hat wohl S. 164 des Dünenbuches übersehen. Meine Verwahrung gegen diesen Vorwurf erfolgt hier so spät, da eine Ende 1910 aus Peking von mir abgesandte Entgegnung auf Herrn Braun von der damaligen Schriftleitung der genannten Zeitschrift abgelehnt wurde und ich es deshalb für aussichtslos hielt, eine Entgegnung auf Herrn Behrmann einzusenden.

[4]) J. Korn: Über Dünenzüge im Torfe des Netzetals bei Czarnikau usw. Jhrb. d. Geol. L.-A. Berlin. Bd. 37. II (1916), Heft 1. S. 147—156.

Ich kann den Beweis jedenfalls in der Uebereinstimmung der Materialmenge zwischen den Torfbecken und den östlich liegenden Dünen nicht sehen. Die Torfmenge hängt von der Höhe der Vertorfung ab, also von dem Grundwasserstande, der erst nach der Dünenbildung eingetreten und von dieser ganz unabhängig ist.

Wenn es überhaupt richtig ist, daß die Dünen von Czarnikau aus unmittelbar daneben liegenden Windmulden aufgeweht sind,

den benachbarten Talsandflächen stamme, wurde der Schluß auf eine Zusammenwehung durch westliche Winde gezogen[5]). WUNDERLICH sagt geradezu: „Diese Tatsache allein würde u. E. vollständig genügen, jeden Zweifel an der Entstehung dieser Dünen durch Westwinde unmöglich zu machen" (a. a. O., S. 479). Da er in seinem Verfahren die Anwendung moderner geographischer Methoden sieht, so muß ich demgegenüber bemerken, daß der ganze Gedankengang für mich nicht den Charakter einer wissenschaftlichen Begründung trägt. Der Vergleich mit einem Beispiel aus der gerichtlichen Beweispraxis mag das am kürzesten veranschaulichen. Ein Mann wird erschossen aufgefunden, daneben ein blutiges Fleischermesser. WUNDERLICH müßte folgerichtig sagen: Das Messer beweist, daß der Mann nicht erschossen, sondern erstochen ist. Nun verliert das Messer aber jede Beweiskraft, wenn die Todeswunde eine Schußwunde und das Blut an dem Messer kein Menschenblut ist. In unserem Dünenbeispiel verliert WUNDERLICHS Folgerung jeden Wert, wenn die Dünen nicht Parabeldünen, sondern Bogendünen vom Barchantypus sind und wenn ihr Material nicht aus dem Talsand herrührt.

Diese Art der Behandlung bringt also die Frage keinen Schritt vorwärts. Schon 1908 war mir klar, daß vor allen Dingen die Beobachtung von Wüstendünen der Jetztzeit erforderlich sei, und mannigfaltige Anregungen von JOH. WALTHER bestärkten mich nach dieser Richtung. Ich erbat daher und erhielt im Herbst 1908 eine Reiseunterstützung seitens der JAGORstiftung, um in Transkaspien heutige Wüstendünen zu studieren. Diese Reise, für deren Ermöglichung ich der JAGORstiftung den aufrichtigsten Dank schulde, hat meine Anschauungen wesentlich geklärt. Aber zugleich zeigte sie mir, daß ich in Transkaspien genau

---

dann muß nach dem, was ich in der Wüste an großen und kleinen Formen sah, das Material der Düne gröber sein als der Durchschnitt des Materials der Windmulde; denn die kleineren Körner werden in solchem Falle weiter fortgetragen, nur die gröberen gleich hinter der Windmulde angehäuft. Da die mir bekannten norddeutschen Binnenlanddünen ein feineres Korn haben als der Talsand, auf dem sie liegen, so kommt die KORNsche Hypothese als allgemeine Erklärung für sie jedenfalls nicht in Frage.

[5]) WUNDERLICH: Zur Frage der polnischen und norddeutschen Binnendünen. Ztschr. Ges. f. Erdkde. Berlin 1916. S. 477 ff. Ähnlich urteilt KEILHACK, Die großen Dünengebiete Norddeutschlands. Diese Zeitschr., Mon.-Ber., 1917, S. *2—19.*, bes. S. *15.*

wie in Norddeutschland vor Dünenbildungen früherer Zeiten stand. Die großen Dünenkämme, deren Beobachtung ich vor allem in Aussicht genommen hatte, gehen von der asiatischen Küste des Kaspischen Meeres nach der Insel Tscheleken hinüber und bilden dazwischen Inseln im Meer, die keinen Zweifel lassen, daß diese Dünen in einer Zeit gebildet sind, als die Wasserfläche des Kaspischen Meeres kleiner als heute war, also ein trockneres Klima mit jedenfalls auch anderen Winden herrschte. Daraus ergab sich freilich die Möglichkeit, Anzeichen eines diluvialen Windsystems auch dort zu finden. Aber die unmittelbare Beobachtung der Bildung dieser Dünen war damit unmöglich.

Noch heute in der Umbildung begriffen und erst vor kurzer Zeit überhaupt in Bewegung gekommen, fand ich Flugsandbildungen von wesentlich geringerer Größe bei Karaul-Kuju und Repetek an der transkaspischen Bahn südlich des Amu-Darja und bei Melnikowo und Patar östlich von Kokand (Gouv. Ferghana). Aber auch diese konnte ich nicht eigentlich in der Entstehung sehen, mehrfach war sogar die letzte beobachtbare Windwirkung eine deutliche Unterbrechung in der Herausbildung der betreffenden Dünenform. Es handelt sich hier um eine Schwierigkeit, auf die wir im Grunde genommen bei aller geologischen Forschung stoßen. Wir haben Vorgänge zu erklären, die stets in Raum und Zeit weit über das unmittelbar Beobachtbare hinausgehen. Wollen wir ihnen durch Beobachtung nahekommen, so müssen wir uns entweder mit einem sehr verkleinerten Abbild begnügen, wie in den Versuchen, Faltungsbilder von Gebirgsprofilen nachzuahmen; oder wir müssen uns darauf beschränken, einen kleineren, aber vielleicht doch typischen Teil des Gesamtvorganges ins Auge zu fassen. Im ersten Fall ziehen wir einen bloßen Analogieschluß, dessen Zulässigkeit eines besonderen Beweises bedarf. Im zweiten Falle liegt im Übergange von dem beobachteten Teil zur Gesamterscheinung eine Aufgabe, die man als Integrierung eines Differentials bezeichnen könnte.

Bedienen wir uns zur theoretischen Erörterung des Verfahrens der mathematischen Formelsprache, dann ist das Ergebnis unserer tatsächlichen Beobachtung stets eine Art Differentialgleichung, etwa $dy = A \cdot dx$. Ist A konstant, dann ist auch $y = A \cdot x$, d. h. ich darf einen einfachen Analogieschluß von der Kleinform auf die große Erscheinung ziehen. Ist A von anderen Veränderlichen abhängig, als von x, dann kann ich die Integrierung über-

haupt nicht vornehmen. Dies ist nur möglich, wenn ich meine Gleichung auf die Form bringen kann $dy = f(x)\,dx$.

Aus der mathematischen Sprache in die allgemeine übersetzt bedeutet das: Ich kann ein Verständnis der großen Flugsandformen aus den beobachtbaren Kleinformen gewinnen, wenn ich alle Fälle ausschließe, in denen unberechenbare örtliche Bedingungen, wie der Windschatten von Hindernissen o. dgl. eine Rolle spielen, mit andern Worten: Wenn ich mich auf selbständige Flugsandformen beschränke. Nun ist die durchgängige selbständige Kleinform der Flugsandanhäufung die Wellenfurche. Von dieser muß ich also ausgehen und dann verständlich zu machen suchen, wie sich durch Summierung dieser kleinen Vorgänge die großen Dünen bilden. Der Unterschied gegenüber den Stranddünen besteht dabei darin, daß die Mitwirkung der Pflanzenwelt, die am Strande eine maßgebende Rolle spielt, in der Wüste fortfällt.

Ich beginne meinen Bericht mit den Versuchen, die erste Anlage von Wellenfurchen zu beobachten. Ich habe diese Versuche zuerst in der transkaspischen Wüste gemacht und in China mehrfach wiederholt. Sie lassen sich aber an jeder Flugsandfläche in Deutschland nachprüfen.

Bei einem Winde, der wohl ein Fortrollen der Sandkörner über die bestehenden Wellenfurchen hin bewirkte, aber die Körner nicht fliegend fortriß, ebnete ich einen Teil eines Wellenfurchenfeldes mit der Hand ein, ohne den Sand festzudrücken. Vergebens wartete ich auf die Bildung neuer Wellenfurchen an der eingeebneten Stelle. Statt dessen traten allmählich die bei den Einebnungsbewegungen unvermeidbaren Ungleichheiten der Lockerheit hervor. Von den lockeren Stellen wurde der Sand herausgeweht und hinter den festeren angehäuft. So entstanden unregelmäßige Formen, aber keine Wellenfurchen. Nahm ich dagegen etwas von dem trockenen Dünensand in die Hände und ließ es aus einiger Höhe langsam auf den Boden hinabstäuben, dann ordnete der Wind ihn in Wellen quer zur Windrichtung an, die zunächst schwer zu erkennen waren, da sie keine Leekante zeigten. Das Entstehen der Leekante, d. h. der scharfen Kante am oberen Rande der Leeseite der Wellenstreifen, ist erst die Folge davon, daß auf dem vorhandenen Sandwellenkamm Sand von der Luv- nach der Leeseite hinübergerollt wird und beim Eintauchen in den Windschatten der Leeseite liegen bleibt.

Führte ich den gleichen Versuch bei starkem Sandstäuben aus, dann bildeten sich ohne weiteres Zutun Wellenfurchen auf dem eingeebneten Boden, und zwar so, daß vom seitlichen Rande des eingeebneten Stückes die stehengebliebenen Wellenkämme einander entgegenwuchsen (vgl. die Pfeilrichtung in Fig. 1). Der Wind erhält offenbar durch eine Art Resonanz an den vorhandenen Wellen die rhythmische Erschütterung, die veranlaßt, daß er den Sand in Querwellen niederfallen läßt. Dabei zeigt sich oft, daß im Augenblicke des Versuches der Wind nicht mehr genau quer zu den Wellenfurchen wehte. Die neu entstehenden Wellenstücke lagen daher etwas schräg zu den alten.

Fig. 1. Ausheilung zerstörter Wellenfurchen in Flugsand.

Daher trafen die einander entgegenwachsenden Enden nicht aufeinander (vgl. d. Abb.). Wo sie einander nahe kamen, entstanden dann keine deutlichen Wellenbildungen.

Trotz ihrer etwas schiefen Lage gegen den Wind blieben die einmal vorhandenen Wellenfurchen der Umgebung bestehen und schienen auch in dem schief gerichteten Winde weiter zu wachsen. Die eben erwähnte Resonanz an den vorhandenen Wellen spielt auch hierbei jedenfalls eine wichtige Rolle.

Aus dem Gesagten schließe ich, daß die Wellenfurchenbildung nicht durch die rollende, sondern durch die fliegende Sandbewegung hervorgerufen wird, wobei allerdings eine scharfe Grenze zwischen beiden nicht besteht, da alle Arten springender, hüpfender Kornbewegungen dazwischen liegen. Daß sich aber Wellenfurchen ganz ohne rollende Bewegung bilden können, zeigt die Beobachtung von Wellenfurchen, die ich auf feuchtem Sande in der Hun-ho-Niederung südwestlich von Peking sich bilden sah. Hier wird jedes aus dem Fluge niederfallende Körnchen sofort feucht und klebt damit fest. Ein Rollen ist also ausgeschlossen. Es bilden sich Wellen (Fig. 2), die eine niedrige, aber übersteile, etwas gewölbte Vorderseite dem Winde entgegenkehren und an dieser Seite, also an der Luvseite,

wachsen. Die Abbildung zeigt weiter, daß die Wellen weniger regelmäßige Linien bilden als bei trockenem Sande, offenbar, weil nicht, wie dort, Unregelmäßigkeiten durch nachträgliches Weiterschaffen der Körner ausgemerzt werden können. Andererseits zeigt die Abbildung auch noch, daß sich unter der Wirkung eines und desselben Windes zwei verschiedene Größenordnungen von Wellen bilden, indem in regelmäßigen größeren Zwischenräumen innerhalb der kleinen Wellen ein stärkeres Abwerfen von Sand erfolgt und dadurch in einem größeren Rhythmus Wellen mit höheren Luvseiten gebildet werden.

Diesen Wellenfurchen auf feuchtem Sand nahe stehen Oberflächenformen, die man auf Schnee besonders dann beobachten kann, wenn der Schnee in deutlicher Sternchen-

Fig. 2. Wellenfurchen aus Flugsand auf feuchtem Untergrund, beebachtet am Hunho südwestlich von Peking.

form fällt, die gleichfalls im Weiterrollen hindert. Hier bilden sich Wellen, die in ihrer Längsrichtung sehr kurz sind und gleichfalls gegen den Wind ihre Steilseite kehren.

Zwei mir zuerst sehr naheliegende Beobachtungsziele gab ich bald auf, nämlich die Feststellung des Zusammenhanges zwischen der Windgeschwindigkeit und der Wellenlänge sowie die der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenfurchen. Da nämlich die Wellenfurchen, einmal gebildet, auch bei etwas veränderter Windrichtung eine Zeitlang erhalten bleiben, so mußte dasselbe auch bei etwas veränderter Windgeschwindigkeit vermutet werden. Der Zusammenhang einer bestimmten Wellenlänge mit einer bestimmten Windgeschwindigkeit wird aber noch unzuverlässiger dadurch, daß man die Windgeschwindigkeit nicht unmittelbar in Höhe der Wellenfurchen messen kann.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenfurchen steht überhaupt nicht in einer einfachen Beziehung zur Windgeschwindigkeit, sondern hängt von dem Grad der Sättigung des Windes mit Sand ab. Dies scheint mir klar aus Fig. 3 hervorzugehen. Sie stellt zwar nicht Flugsand dar, sondern Flußsand, weil in ihm die Schichtung deutlicher ist. Die entscheidenden Verhältnisse werden sicher nicht

Fig. 3. Querschnitt durch Flußsande mit Wellenfurchen. Südlich von Huai-lai-hsien (Peking—Kalgan-Bahn).

dadurch geändert, daß hier Wasser, dort Wind den Transport vermittelt. Das Gesetz bleibt dasselbe, die Gleichung hat nur andere Konstanten. Aus der Schichtung sieht man hier rechts oben, daß bei reichlicher Sandzufuhr sowohl Luv- als auch Leeseite der Wellenfurchen gewachsen ist und daß dort die Leekante fehlt. Weiter links tritt diese auf, und die Leeseite allein ist gewachsen, die Luvseite abgetragen. Ist also die Sandzufuhr groß, dann wird der einmal niedergefallene Sand nicht weiter fortgeschafft, man könnte von einer Lagerfurche sprechen, die der Anhäufung des Sandes dient, im Gegensatz zur Wanderfurche, deren Luvseitenmaterial dauernd nach Lee weitergetrieben wird. Dabei wird nur dasjenige Material für den Neuaufbau der Wanderfurche Verwendung finden, das unmittelbar hinter ihrer Leekante niederfällt, das also rollend oder kurz hüpfend weitergetragen worden ist. Eine Wanderfurche muß parallel der Leeseite geschichtet sein. Je höher der Leeabhang ist, desto langsamer wird er überweht, desto langsamer wandert die Wellenfurche. Ihre höheren Teile wandern daher langsamer als die niedrigen, und es entstehen Bogenformen. An den Seitenwänden eines freien (nicht an Pflanzen oder Hindernisse angelehnten) Flugsandfleckens

ist der Sandvorrat naturgemäß geringer als in der Mitte, daher finden wir in der Mitte Lagerfurchen quer zur Windrichtung. An den Seitenrändern gehen sie in Wanderfurchen über, deren Enden in der Windrichtung voreilen, weil sie am niedrigsten sind. Das gilt nicht nur vom freiliegenden Flugsandfeld, sondern auch von der freiliegenden Einzelfurche. Sie geht in eine Bogenform über, deren konkave Seite in Lee liegt. Ähnliche Bogenformen werden sich auch am Luvrande des Flugsandfeldes oft einstellen, weil dorthin beim Mangel einer Zufuhr aus der Ferne kein neuer Sand kommt, während in der Mitte des Feldes der von einer Furche aufgewirbelte Sand auf die nächsten herabfällt und damit die Bedingungen für Lagerfurchen entstehen. Am Leerande endlich bilden sich überwiegend Bogenformen, weil hierhin nur gelegentlich neuer Sand weht, meist der niedergefallene nur umgelagert wird.

Es ist bekannt, daß Querkämme und Bogenformen auch für die Großformen der kahlen Dünen die Regel sind. So liegt der Gedanke nahe, den m. W. zuerst Joh. Walther ausgesprochen hat, daß die großen Wüstendünen ein vergrößertes Abbild von Wellenfurchen sind. Die Schwierigkeit liegt nur darin, die Entstehung dieser Großformen verständlich zu machen. Ein allmähliches Wachsen einer kleinen Wellenfurche zur großen Düne findet unzweifelhaft nicht statt. Ebensowenig ist es denkbar, daß die großen Dünen von entsprechend stärkeren Winden herrühren; denn sie sind von kleinen Wellenfurchen bedeckt. Dagegen geben die obigen Beobachtungen von Wellenfurchen auf feuchtem Boden eine Erklärung. Dort bildet ein und derselbe Wind gleichzeitig Wellen zweier verschiedener Größenordnungen. Das gleiche kann man auch an gewöhnlichen Flugsandfurchen sehen. Ich machte bei Karaul-Kuju an der transkaspischen Bahn Gipsabgüsse von Wellenfurchen, auf denen gleichzeitig Furchensysteme von 5, 15 und 45 mm Wellenlänge erkennbar sind. Oft sieht man auf Wellen von 20 cm Länge kleinere Furchen von 2—4 cm. Die Abhängigkeit der Wellenlänge von der Windstärke scheint hiernach eine periodische Funktion zu sein, wie ja auch auf See dieselbe Windstärke bei kurzem Wehen „Katzenpfötchen“ schafft, bei dauernder Einwirkung die „haushohen“ Wellen von mehreren 100 m Länge. Der Mangel an Raum verbietet mir leider, näher zu begründen, welche Bedenken infolge dieser Auffassung gegen die übliche Helmholtzsche Theorie der Wellenbildung aufsteigen. Ich erwähne nur,

daß auch die Tatsache der sicher nicht wandernden Wellen auf feuchtem Grunde jener Theorie zu widersprechen scheint. Ich beschränke mich auf einige Beobachtungen, um zu zeigen, daß bei der Dünenbildung kürzere Wellensysteme zuerst entstehen, innerhalb deren sich eine höhere Größenordnung nach der andern entwickelt. Da die großen Formen schwerer zerstörbar sind, so überdauern sie auch gelegentlichen Windwechsel und wachsen entsprechend der herrschenden Windrichtung. Fig. 4 zeigt das im Schema. Auf den weiter unten zu erwähnenden Dünen von Lung bao shan fand ich nach starken Windverwehungen etwa 5 m breite Flugsandstreifen mit Wellenfurchen gewöhnlicher

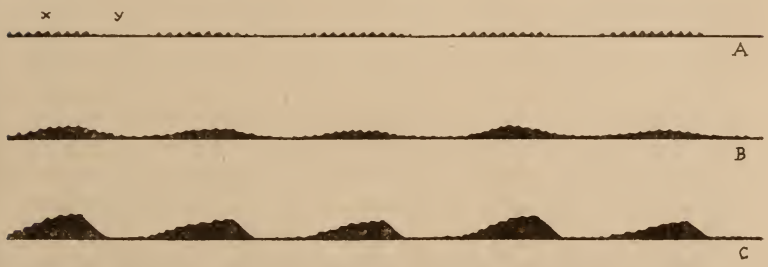

Fig. 4 Bildung großer Flugsandformen aus Wellenfurchenfeldern.

Größe quer zur Windrichtung wechselnd mit etwa gleich breiten kahlgewehten Sandflächen (vgl. Fig. 4 A). Bei Hsia hua yüan (Bahn Peking—Kalgan) sah ich Flugsandwellen quer zum Winde von etwa 20 m und mehr Wellenlänge und 20—30 cm Höhe mit deutlicher Leekante, die Luvseite bedeckt mit Wellenfurchen von etwa 30 cm Wellenlänge, auf denen sich kleine Furchen von 2—4 cm zeigten.

Innerhalb dieses Flugsandfeldes wechselten sandreichere Zonen von ziemlich gerade gestreckten Lagerformen mit sandärmeren, aus bogenförmigen Wanderwellen bestehenden. Dieser Wechsel trat etwa dreimal innerhalb 400 m ein. Solche Verhältnisse kann man sich aus Fig. 4 A folgendermaßen hervorgehend denken: Auf die gefurchten Flächen x fällt dauernd Sand nieder, auf die Flächen y fällt zeitweise Sand in gleichen Furchenformen, zeitweise wird er aber dort wieder fortgeblasen. Bei x muß sich also Sand anhäufen, bei y nicht. So entsteht das Profil B. Allmählich wachsen die Wellen x höher und bilden dadurch ein stärkeres Hindernis für den Wind. Daher wird nun öfter von der Luvseite Sand abgeweht und an der Leeseite, deren Windschatten

immer wirksamer wird, niedergelegt. So erhalten die Wellenberge Leekanten und Steilhänge in Lee (Fig. 4 C). Auf dem Luvhang bleiben die alten Wellenfurchen erhalten. Wie in A die Streifen y Stellen des Transportes, die Streifen x Stellen der Anhäufung waren, so findet nun wieder innerhalb des so gebildeten Wellensystems ein rhythmischer Wechsel zwischen Lagerformen und Wanderformen statt und müßte schließlich dazu führen, daß je eine Gruppe von Lagerformen einen Wellenberg höherer Ordnung bildete, während an der Stelle der Wanderformen (wie in Fig. 4 B) ein Wellental entstände. Dünenwellen von 130 m Wellenlänge mit und ohne Leekante habe ich mehrfach an anderen Stellen beobachten können. Auffallenderweise kehrte dieselbe Wellenlänge sowohl in China als auch in Turkistan wieder. Das Gesetz, das die Beziehung der durch den gleichen Wind erzeugten Wellen von verschiedener Ordnung zueinander ausdrückt, habe ich noch nicht ermitteln können. Häufig fand ich das Verhältnis der Längen der kleineren Wellen zu den größeren etwa wie 1:3. Das erinnert an die bekannte Behauptung, daß in der Meeresbrandung die dritte Welle jedesmal die größte zu sein pflege.

Meine Beobachtungen über Querschnittsformen und Schichtung der Wüstendünen muß ich leider auf eine spätere Veröffentlichung verschieben und beschränke mich darauf, zum Schluß die topographische Aufnahme eines kleinen Bogendünenfeldes von Lung bao shan bei Huailai hsien (Bahn Peking—Kalgan) wiederzugeben (Fig. 5), dem ich ähnliche Bildungen aus Turkistan an die Seite stellen könnte. Was die allgemeinen Bedingungen der Entstehung des Flugsandfeldes an dieser Stelle betrifft, so kann ich

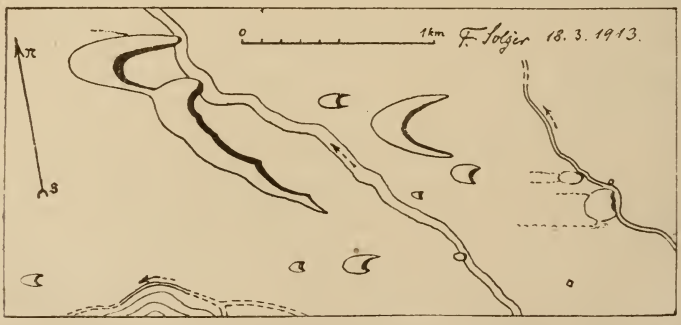

Fig. 5. Rezentes Bogendünenfeld bei Lung bao shan, südlich von Huai-lai-shien (Peking—Kalgan-Bahn).

die Herkunft des Dünensandes nicht angeben. Aus der unmittelbaren Nähe stammt er nicht, da diese aus kiesigem Boden besteht. Daß Westwinde ihn herangetragen haben, kann keinem Zweifel unterliegen. Wollte man selbst die heutigen Windverhältnisse nicht als Beweis gelten lassen, so genügt doch die Tatsache, daß im Osten kurz hinter dem Dünenfeld ein rasch ansteigender Gebirgsrücken von 300 bis 400 m Höhe beginnt, an dessen Westseite große mehr oder weniger bewachsene Flugsandflächen ziemlich hoch hinaufgeweht sind. Zwei bis drei Kilometer westlich des Bogendünenfeldes fließt von N nach S ein Flußtal. Dies kann aber den Sand nicht liefern, da es bewachsen ist. Der Flugsand muß vielmehr weiter aus dem Westen kommen und das Flußtal überfliegen. 10—15 km westlicher liegen wieder kahle Dünen, die den Sand liefern können; woher sie aber den ihrigen nehmen, weiß ich nicht.

Klarer als die Herkunft des Sandes ist der Grund seiner Ablagerung. Der Gebirgsrücken im Osten staut jedenfalls den Westwind, und dieser verliert dadurch einen Teil seiner Transportkraft.

Größe und Grundrißformen der Dünen ergeben sich aus der Fig. 5; die größte der Dünen hat eine Höhe von 28 m. Die stark gezeichneten Böschungen und Sturzhänge von 25—30°. Die Luvböschung der Hauptdüne beträgt 9—10°.

Der Wasserlauf (nur während der Regenzeit im Sommer fließend), der quer durch das Dünenfeld geht, zeigt, indem er den Nordschweif der vordersten Bogendüne abschneidet, deutlich, daß diese Sandmassen sich Schritt für Schritt durch allmähliche Leeseiten-Überschüttung fortbewegen, während derselbe Fluß die Bildung weiterer Bogendünen im Osten nicht verhindert hat. Diese bestehen eben aus Sand, der an Ort und Stelle aus dem freien Winde niedergefallen ist.

Man muß bei einem solchen Wüstendünenfeld im Gegensatz zu unseren Stranddünen festhalten, daß die in Lee liegenden Kämme nicht älter sind als die weiter gegen Luv liegenden, sondern daß sich alle Kämme gleichzeitig bilden und daß der Flugsand über sie hinweg von einem zum andern getragen wird, ohne daß die Kämme dabei ihre Lage wesentlich zu verändern brauchen.

Um die Wandergeschwindigkeit der einzelnen Dünenbogen festzustellen, habe ich das Feld in zwei aufeinander folgenden Jahren aufgenommen. Leider ist das Material

der ersten Aufnahme noch in China. Ich habe nur die zweite wiedergeben können. Sie stammt vom März 1913.

Am Ostrande des Dünenfeldes treten zwei Gebilde auf, die als Seitenstück zu den Parabeldünen unserer Küsten aufzufassen sind. Die Ränder zweier ostwärts wandernder niedriger Bogendünen sind hier von dem gegen den Rand der östlichen Berge hin zunehmenden Graswuchs festgehalten worden. So entstehen seitliche Kupstenreihen. Aber wie dieser Graswuchs kümmerlich ist gegenüber dem unserer Strandnehrungen, so sind auch die entstandenen Parabeldünen Kümmerformen gegenüber denen an unseren Meeresküsten. Die seitlichen Kupstenreihen erreichen nicht einmal Mannshöhe. Ähnliche Beobachtungen machte ich auch am Rande der Wüste in Ferghana 1908.

Grundrißformen wie Abmessungen des hier dargestellten Dünenfeldes erinnern außerordentlich an manche norddeutsche Binnenlanddünen, nur daß sie gegen jene um 180° gedreht erscheinen. Ich bin gespannt, ob die Herren, die für das norddeutsche Flachland meine Ostwindtheorie ablehnen, auch bestreiten, daß das hier abgebildete Feld durch Westwinde entstanden ist.

An der Diskussion beteiligen sich die Herren W. E. Schmidt, v. Oheimb und der Vortragende.

Herr **GOTHAN** spricht **„Über die Verbreitung der Glossopteris-(Gondvanna-)Flora im Lichte der neueren Entdeckungen.“**

Das Sitzungsprotokoll wird verlesen und genehmigt.

v. w. o.

Pompeckj Janensch. Bärtling.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1920

Band/Volume: 72

Autor(en)/Author(s):

Artikel/Article: Monatsberichte der Deutschen Geologischen Gesellschaft 145-180