

Gedanken zur Lößfrage

Von Fritz Weidenbach - Stuttgart

Das zentrale Problem der Diluvialgeologie ist nach wie vor die Gliederung des Eiszeitalters. Es ist bis heute leider noch nicht gelungen, ein für alle eiszeitlichen Ablagerungen gültiges Schema aufzustellen. Zwar gibt es für die vereisten Gebiete arbeitstechnisch brauchbare Gliederungen; wenn man aber versucht, die stratigraphische Einteilung der Moränen und Terrassenschotter mit der Gliederung der Löße in Einklang zu bringen, dann stößt man auf beträchtliche Schwierigkeiten.

Nach der herrschenden Meinung haben wir 2 würmeiszeitliche Löße und einen älteren, rißeiszeitlichen Löß. Wenn wir aber die Lößgliederung nach dem Grundsatz vornehmen, daß zu jeder Eiszeit auch ein Löß gehört, dann müßten wir auf älteren Würmterrassen den jüngeren Würmlöß, auf der jüngsten Rißterrasse aber beide Würmlöße finden. Demgegenüber stellen wir in allen vereisten Gebieten fest, daß auf den Würmmoränen und Niederterrassen so gut wie kein Löß vorkommt. Unsere stratigraphischen Schlußfolgerungen stimmen demgemäß augenscheinlich nicht. Wahrscheinlich beruht diese Unstimmigkeit auf der Tatsache, daß die Lößspezialisten 2 Würmlöße brauchen, um der Zweiteilung der Würmeiszeit, wie sie schon von A. PENCK (1909) und W. SOERGEL (1919) gefordert wurde und in neuerer Zeit bei der Milankovitch'schen Strahlungskurve, bei B. EBERL (1930), J. KNAUER (1935), J. SCHÄFER (1940) usw. wieder erscheint, gerecht zu werden. Es gibt aber keine stichhaltigen Argumente dafür, daß die 2 jüngeren Löße würmeiszeitlich, der ältere rißeiszeitlich ist. Umgekehrt kann man sagen, daß das Problem der Eiszeitengliederung nur gelöst werden kann, wenn auch die Entstehung des Lößes ganz allgemein und vor allem die stratigraphischen Beziehungen zwischen Lößen, Moränen und Terrassenschottern geklärt wird. Die nachfolgenden „Gedanken zu Lößfrage“ berühren neben dem Problem der Herkunft und Entstehung des Lößes auch deren Zugehörigkeit zu den eiszeitlichen (glazialen) fluvio- und periglazialen Ablagerungen.

Bis zu der grundlegenden Arbeit von W. SOERGEL über Löße, Eiszeiten und paläolithische Kulturen im Jahr 1919 bestanden noch die verschiedensten Meinungen über Herkunft, Entstehung und Altersstellung des Lößes.

Marin, fluviatil, kosmisch, vulkanisch, fluvioglazial usw. sollte der Löß entstanden sein. Allerdings war die herrschende Meinung seit RICHTHOFEN's Untersuchungen 1877, daß der Löß zumindest größtenteils äolisch sei. Während ein Teil der Geologen die Lößentstehung in die Glazialzeiten verlegte, behaupteten andere, er sei interglazial. SOERGEL's Arbeit brachte nun den Beweis, daß seine Hauptbildungszeit ins Glazial fällt. Seine Beweisführung stützt sich sowohl auf geologisch-stratigraphische Tatsachen wie auch insbesondere auf paläontologische und prähistorische. Er hat auch die Bedeutung der Lößgliederung für die Chronologie des Eiszeitalters klar erkannt und eine Parallelisierung der Löße mit den glazialen und fluvioglazialen Ablagerungen gegeben, die zwar im Einzelnen heute nicht mehr gültig ist, aber doch für die weitere Forschung sehr beachtliche Anregungen gibt. Über die Herkunft des Lößmaterials verbreitet sich SOERGEL nirgends. Es ist für ihn ganz selbstverständlich, daß der Löß aus den vor den großen Eismassen liegenden Sander- und Terrassenflächen durch Fallwinde ausgeblasen wurde. Er findet dieses ganze Problem noch nicht einmal einen eigenen Abschnitt wert, sondern erwähnt dies nur mehr nebenbei.

SOERGEL'S Arbeit bedeutet insofern nicht nur einen Abschnitt in der Lößforschung, sondern in gewisser Hinsicht einen Abschluß. Man kann es heute kaum mehr verstehen, daß erst ein großes scharfsinniges Werk geschrieben werden mußte, um die „Lößinterglazialisten“ zum Verstummen zu bringen. Für uns sind die Auffassungen SOERGEL'S inzwischen zum Allgemeingut der gologischen Wissenschaft geworden.

Umsomehr überrascht eine neuere Auffassung von F. LOTZE (1948),¹⁾ wonach der Löß auf mehrere vulkanische Phasen auf dem Mond zurückzuführen sei. Er greift damit einen längst vergessenen Gedanken von K. KEILHACK (1920) wieder auf. Wir halten es für müßig, dazu Stellung zu nehmen. Interessant ist aber, daß LOTZE in geologischen Vorgängen auf unserer Erde keine Erklärung fand für die ungeheuren Mengen Löß, und daß er eben deswegen in den Kosmos griff. Die Mengenbilanz hat nicht nur ihm, sondern auch anderen Geologen immer wieder Kopfzerbrechen gemacht. J. BÜDEL (1944) hat — wohl aus dem gleichen Grunde angeregt — einen wesentlichen Teil des Lößstaubes aus der eiszeitlichen Frostschuttzone abgeleitet.

Während nun aber BÜDEL den Löß als hochglaziales Sediment auffaßt, bezweifelt H. POSER (1948), daß die Hauptmenge des Lößes im Hochglazial abgelagert wurde. Er verlegt die Lößbildung ins Spätglazial bzw. z. T. ins Postglazial. Diese neueren Auffassungen zwingen zu einer Stellungnahme. Wenn ich im Folgenden rein geologische Argumente vorbringe, so deswegen, weil sich m. E. an der stichhaltigen paläontologischen Beweisführung W. SOERGEL'S für das hochglaziale Alter der Löße bis heute nichts grundlegend geändert hat.

Das Problem lautet also:

1. Woher kommt der Lößstaub?
2. In welchen Abschnitt einer Kaltzeit fällt die Lößbildung?
3. Wie sind die Löße stratigraphisch einzuordnen?

1. Die Herkunft des Lößes

Zuerst möchte ich zu der Auffassung J. BÜDEL'S (1944) Stellung nehmen, nach der neben den Schotterfluren und Moränengebieten die vegetationslose Frostschuttzone als Liefergebiet wesentlich zur Lößbildung beigetragen habe.

Es kann nicht bezweifelt werden, daß Feinmaterial aus Frostschuttböden während der Eiszeiten verweht wurde. Die petrographische Ausbildung gewisser Löße weist auf Verwehungen bestimmter im Verbreitungsgebiet der Löße vorhandener Böden hin. So sind beispielsweise die Löße im Verbreitungsgebiet der Keupermergel Württembergs stellenweise merkbar rötlich gefärbt. Die Löße Oberschwabens sind glimmerreicher als gewöhnlich, und man dürfte wohl nicht fehlgehen mit der Annahme, daß der Glimmer zu einem nennenswerten Teil unmittelbar ohne Umweg über Moränen und Terrassenschotter aus den tertiären Glimmersanden ausgeblasen wurde. Aber dabei handelt es sich doch wohl um lokale Vorgänge, die für die Lößbildung im Ganzen und vor allem mengenmäßig keine entscheidende Rolle gespielt haben.

Die petrographische Verschiedenheit, wie auch der sehr stark wechselnde Kalkgehalt der Löße verschiedener Gebiete sind nicht beweisend für eine maßgebliche Beteiligung der Frostschuttzone am Ausblasungsgebiet. Sie lassen sich, wie wir später sehen werden, zwanglos anders erklären. Was aber entschieden gegen BÜDEL'S Auffassung spricht, ist die geologische Tatsache, daß die Frost-

¹⁾ Vortrag auf der Tagung d. Geol. Vereinigung in Bonn 1948.

verwitterung in unseren Mittel- und Hochgebirgen so gut wie keinen Staub erzeugte, sondern nur groben Schutt. Alle unsere Mittelgebirge sind nämlich im Wesentlichen aus Sandsteinen, Kalksteinen, Dolomiten, kristallinen Schiefen und dgl. aufgebaut, also aus festen Gesteinen, die durch Frostverwitterung fast nur blockig und scherbzig zerfallen, aber sehr wenig Staub liefern. Gerade die Mittelgebirge bilden aber einen ganz wesentlichen Teil der eiszeitlichen Frostschuttgebiete.

Im Hinblick auf den hohen Kalkgehalt der meisten unserer mitteleuropäischen Löße ist besonders zu beachten, daß unsere Kalkgebirge — z. B. die Schwäbische Alb — in der Eiszeit einen fast reinen Gesteinsschutt lieferten, dem höchstens ein paar Prozent Kalkmergel beigemischt sind, die aus weichen Schichten stammen. Dies kann man an jedem Aufschluß in den Schuttmassen des Weiß-Jura beobachten.

Neben dem Gebirgsland verbleiben aber noch weite Gebiete, die aus lockeren tonigen Gesteinen, Mergeln und schluffigen Sanden bestehen. Sie könnten durch Frost zwar feines Verwitterungsmaterial liefern, das verblasen werden kann. Wie schon oben erwähnt, ist dies auch örtlich der Fall; unter anderen seien unsere Keupermergel, Röt-, Lias- und Doggertone usw. genannt. Vergessen wir aber nicht, daß diese tonigen und mergeligen Gesteine auf weiten Flächen selbst mit Löß bedeckt sind. Das geringe Relief dieser Lockerböden in Verbindung mit ihrer hohen Wasserhaltefähigkeit bildete ja eben die unerläßliche Grundlage zur Entwicklung einer Grastundra und diese die Voraussetzung für die Lößablagerung bzw. -fixierung. Diese Tatsachen werden bei Betrachtung jeder geologischen Karte völlig klar, und man kann in diesem Sinne von lößfreundlichen und lößfeindlichen Gesteinsformationen sprechen.

Schon allein aus diesen Gründen kann die Frostschuttzone nicht wesentlich zur Lößbildung beigetragen haben. Man muß aber ferner berücksichtigen, daß unsere Löße nur in geringem Umfang Mineralien der Tongruppen enthalten, wie sie in unseren Böden, Tonen und Mergeln vorkommen.

Zum überwiegenden Teil bestehen die Löße aus Gesteinsstaub, Quarz, Feldspat, Kalk und Glimmer. Voraussetzung für die Entstehung unserer Löße ist also augenscheinlich die mechanische Zertrümmerung frischer Gesteine in größtem Ausmaß. Das ist ein geologisches Faktum, das nicht übersehen werden darf. Als große Gesteinsmühlen, in denen der Staub in solch ungeheuren Mengen entstand, kommen für unseren Klimabereich nur unsere eiszeitlichen Gletscher und Flüsse in Betracht.

Jedes einzelne Flußgeröll legt Zeugnis von diesem Vorgang ab. Man kann sich durch Ergänzung der einzelnen Geschiebe zum ursprünglichen — eben durch Frostverwitterung entstandenen — Gesteinsstück leicht ausrechnen, was im Fluß durch Reibung infolge Fortbewegung abgeschliffen wurde. Man braucht nur die Körnungskurven der Sedimente vom Oberlauf und Unterlauf unserer großen Ströme miteinander vergleichen, dann kann man sich etwa eine Vorstellung davon machen, welche Massen Gestein durch die Arbeit des fließenden Wassers zu Staub zerkleinert werden.

Ich habe mit einfachsten Mitteln einen Laboratoriumsversuch angestellt, um festzustellen, ob beim Übereinanderrollen von Geschieben lößähnliches Zerreibsel entsteht. Zu diesem Zweck brachte ich in eine Blechbüchse mit 12 cm Höhe und 10 cm ϕ insgesamt 500 Gramm Kies, bestehend aus völlig gerundeten

und ganz gesunden Geröllen. Davon waren 2 Gneise, 1 Milchquarz, 6 Kalksteine und feinkörnige, dichte Kalksandsteine. Die Gerölle waren alle etwa gleich groß. Nachdem die Büchse halbvoll mit Wasser aufgefüllt war, wurde sie in einer Schüttelmaschine, wie sie in jedem bodenmechanischen Laboratorium zur Aufbereitung von Böden verwendet wird, etwa 5 Minuten lang kopfüber gedreht, um etwa noch anhaftende Schlammteilchen von den Geröllen abzuspülen. Nach nochmaligem gründlichem Auswaschen wurde der Kies nur 15 Minuten lang in der Maschine geschüttelt, wobei die Gerölle langsam, aber stoßweise übereinander kollerten. Das in 15 Minuten abgeriebene Feinmaterial reichte bereits gut aus, um mehrere mikroskopische Präparate herzustellen. Überraschenderweise entspricht sowohl die Korngröße wie auch die Kornform fast vollkommen derjenigen eines gewöhnlichen Lößes. Allerdings kommen — was nicht weiter verwunderlich ist — neben den weitaus vorherrschenden Körnern mit 0,01—0,05 mm auch untergeordnet größere bis zu 0,35 mm vor.

Der Versuch wurde nun mit einer Schüttelzeit von 3 Stunden wiederholt. Die Menge des abgeriebenen Materials betrug 2,5 Gramm, also $\frac{1}{2}\%$. Bei 25 Umdrehungen pro Minute haben die Gerölle einen Weg von durchschnittlich 500 m zurückgelegt. Das dabei gewonnene Zerreibsel ist — wie erwartet — zum überwiegenden Teil sehr viel feinkörniger als Löß, die Hauptmenge liegt unter 0,01 mm ϕ .

Augenscheinlich hat in der Kugelmühle eine sehr starke Zerkleinerung des von den Geröllen abgeriebenen bzw. abgestoßenen, ursprünglich gröberen Materials stattgefunden. In der Natur werden im Gegensatz zum Versuch die von den Geröllen abgesprengten Feinteile durch das fließende Wasser — sei es in Schmelzwasserströmen, Gletschermühlen oder Gletscherbächen — sofort nach deren Entstehung in Schwebelage gehalten und kommen dadurch aus dem Bereich der mahlenden Gerölle heraus, so daß es nur selten zu einer mehrfachen Zerquetschung derjenigen feinen Bestandteile kommt, die in der Korngröße dem Löß entsprechen.

Es ist klar, daß in einer Kugelmühle eine äußerst wirksame Zertrümmerung stattfindet, die wahrscheinlich viel größer ist als in einem Fluß.

Zahlenmäßige Angaben über den Abreibungseffekt in Flußgeröllen finden sich bei G. WAGNER (1950). „In einem rasch fließenden Bach (2% Gefälle) brauchen Granitbrocken von 20 cm Durchmesser 11 km, bis sie auf 2 cm abgerollt sind, bei Gneis und Glimmerschiefer genügen 5—6 km. Ein weicher Sandstein dagegen ist nach 1,5 km schon ganz zerrieben. Wird ein Granitgeröll nach 300 km Weg ganz zerstört, so braucht Kalkstein dazu nur 85 km, Sandstein nur 15 km. Ein Feuerstein soll bei 1 km Weg nur 0,02% seines Gewichts verlieren. Grundgebirgsgerölle nehmen im Alpenrhein von Ilanz bis zum Bodensee von 1—1,5 m Durchmesser auf 0,1 m ab, am Oberrhein von Basel bis Mannheim von 5,9 kg auf 0,1 kg, an der Mur bei Graz nach 120 km von 220 cm³ auf 21 cm³. Gleichzeitig sinkt der Anteil der Gerölle von 42% auf 19%, während das Zwischenmittel (Sand, Schlamm) von 58% auf 81% zunimmt.“ Nach Mitteilung von P. GROSCHOPF sind Ziegelbrocken in der Donau bei Ulm auf einer Wegstrecke von 1—2 km von Doppelfaustgröße auf Nußgröße abgeschliffen. Gekritzte Gesschiebe haben bekanntlich schon nach wenigen 100 m ihre Kritzen verloren.

Man kann sich ein ungefähres Bild machen von den großen Mengen Gesteinsstaub, die bei der Bildung fluvioglazialer Schotterfluren entstehen können; die Mengenbilanz des Lößes dürfte unter Berücksichtigung dieser Vorgänge keine unerklärlichen Schwierigkeiten bereiten.

Daß natürlich auch unsere eiszeitlichen Gletscher beachtliche Mengen von Gesteinsmehl geschaffen haben, beweisen die mergelig-schluffigen Grundmoränen und Bändertone. Selbstverständlich sind den eiszeitlichen Strömen bedeutende Mengen feinen Zerreibsels in Form von Gletschermilch zugeführt worden. Im Vergleich zu dem in den Schmelzwasserströmen selbst entstandenen Gesteinsmehl dürften sie aber stark zurücktreten. Nicht vergessen darf man, daß das von Gletschern erzeugte Gesteinsmehl zum großen Teil wesentlich kleinere Korngrößen aufweist, als diejenigen, die wir im Löß finden. Das beweisen zahlreiche Analysen von Geschiebemergeln.

Die Verblasung des Staubs kann nur erfolgen, wenn er — in nicht bindiger Form — austrocknet. Unsere verwilderten eiszeitlichen Flüsse mit ihren weiten Schotterfluren und stets wechselnden, ganz flachen bzw. nur wenig in die Schotterterrasse eingetieften Gerinnen boten hierfür günstigste Bedingungen. Im Gegensatz zu unseren heutigen Flüssen mit ihren tief eingeschnittenen Läufen, führte jedes Ansteigen des Wasserspiegels zur Überschwemmung weiter Gebiete im Bereich der eiszeitlichen Schotterfluren. Vielleicht konnten zeitweise schon im täglichen Rhythmus der Wasserführung größere Flächen immer wieder im Wechsel überschwemmt und trockengelegt werden. Jedenfalls aber verursachten die großen Frühjahrsüberschwemmungen Überflutungen weit ausgedehnter Gebiete. Solange wie die Akkumulation im Bereich unserer eiszeitlichen Schotterfluren anhielt, wurden daher auch immer wieder neue Massen von Gesteinsstaub herangebracht, und da dieser in Mischung mit Sand, also in nicht bindiger Form über Kies abgelagert wird, konnte er oberflächlich leicht austrocknen und ausgeblasen werden.

Man könnte dagegen zwar einwenden, daß ja auch unsere heutigen Flüsse noch Kies transportieren, und daher Gesteinsstaub entsteht. Dem ist aber entgegenzuhalten, daß die heutigen wie auch die spät- und postglazialen Flüsse fast ausnahmslos überall eine vergleichsweise schmal begrenzte Abflußrinne und wenig ausgedehnte Überschwemmungsfläche haben; der Gesteinsstaub wird also abtransportiert oder bleibt im Mündungsgebiet unter Wasser als Schlick liegen. Die weiten vegetationslosen Schotterfluren kommen heute nur noch in arktischen Gebieten und in kleinem Ausmaß im Oberlauf mancher Gebirgsflüsse vor, und hier geht die Lößbildung, wenn auch nur örtlich und in geringem Maße, heute noch weiter. So erwähnt Alb. HEIM (1917), daß in der Gegend zwischen Chur und Feldkirch im letzten Jahrhundert vor der großen Rheinregulierung bei Föhnlage noch Löß entstand, der nach seinem Aussehen und Verhalten diluvialen Lößen ähnlich ist, z. T. etwas sandiger ist. R. LAUTERBORN (1912) beschreibt, wie sich aus den dortigen Sandbänken mächtige Staubwolken erhoben und der Staub sich wieder an den benachbarten Hängen ablagerte. Ähnliche Staubverwehungen sind mehrfach von Grönland, Island und anderen noch vereisten Gebieten beschrieben.

Wenn man nun auch annehmen darf, daß der überwiegende Teil des Lößes aus den glazialen Schotterfluren stammt, so kann natürlich nicht bezweifelt werden, daß auch die Moränengebiete als Ausblasungsbereich ihren Beitrag lieferten. Ich möchte aber diesen Anteil nicht sehr hoch einschätzen und zwar aus folgenden Gründen:

1. Das Moränengebiet war zur Hochglazialzeit mit Eis bedeckt, die Ausblasung konnte also erst beim Rückzug einsetzen.
2. Der Rückzug des Eises erfolgte mit starker Verzögerung erst lange nach der tiefsten Klimodepression, so daß die Pflanzen rasch vom eisfrei werdenden Land Besitz ergriffen.

3. Die Feinbestandteile der Moränen, die als Ausgangsmaterial für Löß in Frage kommen, sind in bindiger Form festgelegt und konnten weniger durch Austrocknung, sondern eher noch durch Gefrieren so gelockert werden, daß der Wind sie verblasen konnte.
4. Im Gegensatz zu den Schotterterrassen findet im Moränengebiet keine Erneuerung des Materials statt, so daß sich bald oberflächlich ein Steinpflaster bilden müßte.

Alles in allem dürfte der Anteil der Moränengebiete an der Lößbildung recht gering, wahrscheinlich sogar noch geringer sein, als derjenige der Frostschuttzone, die im Hochglazial frei lag, und wo durch Solifluktionvorgänge wenigstens immer wieder neues Material an die Oberfläche gelangte. Rechnerisch wird man natürlich schwer im Einzelnen nachweisen können, wie viel des Lößes von den Schotterfluren, wieviel anderswoher stammt. Mag aber diese Rechnung ausfallen wie sie will, so kann man nicht an der Tatsache vorbeigehen, daß während der Eiszeit für die Staubauswehung außer dem heutigen Festland noch weitere große vegetationslose Gebiete zur Verfügung standen, die heute unter Wasser liegen. Während der Eiszeiten waren ja große Mengen Wasser als Eis festgelegt. Der Ozeanspiegel lag daher rd. 90 m tiefer als heute. Große Gebiete des Kontinentalschelfs waren damals Land. Die Flüsse bauten weit in das Gebiet der heutigen Schelfmeere hinaus Schotterfluren auf, aus denen beachtliche Mengen Löß ausgeweht werden konnten. Man darf ferner in Betracht ziehen, daß mit der Regression des ozeanischen Wassers Streifen um Streifen der Meeressedimente trockengelegt und von der Brandung wieder aufgearbeitet, in Mischung mit Sand am Strand abgelagert, und die feineren Körnungen vom ungehemmt über das Meer hinbrausenden Seewind weit ins Land hinein fortgetragen wurden. In den breiten Schelfgebieten herrschten, wie heute so erst recht zur Eiszeit, geradezu ideale klimatische Vorbedingungen für die Ausblasung. Wie weit allerdings die Strandsedimente selbst sich zur Ausblasung eigneten (Korngröße, Bindigkeit), mag dahingestellt sein. Ich möchte auch die Bedeutung der Strandzone für die Lößbildung nicht überschätzen; aber rein flächenmäßig betrachtet, ist das Gebiet gewiß auch nicht zu unterschätzen. Es muß jedoch weiteren Arbeiten überlassen werden, zu untersuchen, wie groß der Anteil des Lößes von den Flußterrassen, die heute unter Wasser liegen, und vom Schelf her sein kann.

Bei der Betrachtung von Karten, welche die flächenmäßige Verbreitung des Lößes darstellen, fällt sofort auf, daß die Hauptmasse in der Umgebung der großen Flüsse abgelagert wurde. Gute Beispiele hierfür sind der Rhein, die Donau, der Mississippi. Aber auch die riesigen Lößablagerungen in China liegen im Einflußbereich der beiden Flußgiganten Hoang-Ho und Jangtse-Kiang. R. GRAHMANN hat 1932 auf diese Tatsache hingewiesen und daraus gefolgert, daß die glazialen Schotterfelder das hauptsächliche Ausblasungsgebiet darstellen. Ich schließe mich dieser Auffassung in vollem Maße an und erblicke keinerlei Schwierigkeiten, die großen Mengen Löß aus den eiszeitlichen Überschwemmungsgebieten der großen Schmelzwasserströme abzuleiten. Alle anderen Ausblasungsgebiete spielen demgegenüber eine untergeordnete, wenn nicht nebensächliche Rolle. Aber noch eines wird einem bei dieser Betrachtungsweise klar, nämlich der K a l k g e h a l t des Lößes. Für die Herkunft des Kalks stehen ganze Gebirge zur Verfügung. In unseren eiszeitlichen Flüssen und Gletschern wurden die Kalksteine zu Mehl und Staub zerrieben und kamen körnig in den Löß. Erst diagenetisch wurde dann der Kalk aufgelöst und bildet nun heute einen Film

um alle Körner. Daß der Kalkgehalt norddeutscher Löße z. B. wesentlich geringer ist als derjenige der süddeutschen, beruht eben auf dem Umstand, daß die Schmelzwasserströme Süddeutschlands (Rhein und Donau) viel mehr Kalkgerölle mitführen. Die Löße Niederösterreichs sind so ungewöhnlich kalkreich, weil die Zubringer der Donau von den Ostalpen her vorwiegend kalkalpines Material transportieren. Der Kalkgehalt der Löße ist also völlig abhängig vom jeweiligen Einzugsgebiet der Schmelzwasserströme, welche die Schotterfluren im Vorland aufbauten. Die großen Unterschiede weisen übrigens darauf hin, daß die Verblasung nur auf relativ beschränktem Raum erfolgte und nicht über viele hundert Kilometer reichte. Dies hängt wahrscheinlich mit dem Wirkungsbereich der Antizyklonen über den Eiskalotten zusammen. Die Auffassung von GANSEN (1922), daß der Kalk durch bodenbildende Vorgänge bei aridem Klima entsteht, ist unhaltbar, weil durch Verwitterung oder Bodenbildung immer nur soviel Kalk entstehen kann, als im Substrat Ca-Ionen zur Verfügung stehen. Überdies müßten bei diesem Vorgang Resttone entstehen, welche in Lößen nicht vorhanden sind.

2. In welchen Abschnitteiner Kaltzeit fällt die Lößbildung?

Wir folgern aus den obigen Darlegungen, daß der Löß zum weitaus größten Teil hochglazial sein muß. Im Hochglazial flossen die Schmelzwässer unserer Gletscher über große Schotterfluren zum Meer, ohne daß sie vorher in Staubecken (Ostsee, Bodensee z. B.) ihre Sedimente ablagern und dann geklärt weiterfließen konnten. Im Hochglazial lagen die Schelfe trocken. Im Hochglazial waren in unserem Klimagürtel die Wälder verschwunden und hatten der Grastundra Platz gemacht, in der überhaupt Löß sedimentiert bzw. fixiert werden konnte. Im Hochglazial lief also die Mühle auf vollen Touren. In diese Zeit fällt die Ablagerung der Hauptmasse unserer Löße.

Das zeigen auch alle Lößprofile. Die Serie einer Kaltzeit beginnt — wie H. FREISING (1951) an zahlreichen Lößprofilen nachweisen konnte — jeweils mit Fließerden, deren Material dem anstehenden Untergrund bzw. höher am Hang gelegenen Schichten entstammt. Nach oben verzahnen sich diese Fließerden gewöhnlich mit Löß. Darüber folgt dann eine geschlossene Serie reinen Lößes, der allerdings — wie dies nicht anders zu erwarten ist — ebenfalls Flieberscheinungen zeigt, wenn diese bisweilen auch nur schwer zu erkennen sind. Es zeigt sich also, daß beim Anbruch einer Kaltzeit im nicht vereisten Gebiet zuerst einmal Bodenfließen eintritt, ohne daß wesentlich Löß angeweht wird. Im weiteren Verlauf der Kaltzeit wird dann immer mehr Löß angeweht, der sich mit den Fließerden verzahnt. Dies entspricht der Vorstoßphase. Schließlich werden die Bodenfließvorgänge vollkommen von der Lößanwehung überwältigt, so daß bei geringem Geländere relief Fremdmaterial nicht mehr in den Löß einfließt. Dies entspricht dem Hochglazial = Höchststand unserer Gletscher.

Mit dem Ende des Hochglazials = Höchststand der Gletscher hört augenscheinlich die Lößsedimentation plötzlich auf. Fließerden, wie sie an der Basis der Löße zu finden sind, fehlen im Hangenden. Dies beruht wohl darauf, daß vom Zeitpunkt des Rückzugs der Gletscher an die Flüsse weniger Schotter zu transportieren hatten, weil ein großer Teil des Gletscherschuttes in abflußlosen Seebecken sedimentiert wurde und nicht mehr ins Vorland gelangt. Die Schmelzwässer konnten daher nach Durchfluß der Stauseen erodieren und in geschlossenen Rinnen abfließen. Die breiten Schotterfluren kamen infolgedessen aus dem

Überschwemmungsbereich heraus und wurden — wie Schelf und Festland — schnell von einer Vegetationsdecke überzogen.

Es zeichnen sich hier gewisse Parallelen im Aufbau unserer Lößprofile und unserer glazialen Schotterprofile ab: Vorstoßphase, Hochglaziale Phase, starkes Zurücktreten der Rückzugsphasen. Es sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, daß W. SOERGEL (1919) auf anderem Wege ebenfalls zu der Auffassung gelangte, daß die Lößbildung in der Hauptsache ins Hochglazial fällt, wie dies aus seiner sehr instruktiven Skizze hervorgeht.

Er weist darauf hin, daß das Abschmelzen der Gletscher nicht nur am Rande erfolgte, sondern bei Eintritt einer Klimaverbesserung auch flächenhaft an der Oberfläche. Dies hatte zur Folge, daß sich die Gletscheroberfläche mit einer gegen Ausstrahlung schützenden Schmutzschicht überzog und infolgedessen die Antizyklonen über den Eiskalotten abgebaut wurden.

Man darf wohl mit Recht annehmen, daß das Land sich unter diesen klimatischen Bedingungen rasch wieder besiedelte. Einzelne klimatisch besonders begünstigte Stellen werden wärmeliebenden Tieren und Pflanzen die Möglichkeit gegeben haben, die Kaltzeit zu überdauern, ebenso wie arktische Pflanzen in unserem Klimagürtel heute noch da und dort dürftige Lebensbedingungen finden. Von solchen Stellen aus konnte die Besiedelung noch beschleunigt werden. Die Verhältnisse in arktischen Ländern, z. B. Grönland, zeigen uns, daß die Pflanzenwelt eine ungeheure Vitalität hat und dem weichenden Eis fast auf dem Fuße folgt.

3. Wie sind die Löße stratigraphisch einzuordnen?

Es wurde bereits erwähnt, daß wir im mitteleuropäischen Raum i. a. einen älteren und 2 jüngere Löße haben. H. FREISING (1951) hat dies insbesondere an württembergischen Lößprofilen bestätigt. Allerdings hat er darauf hingewiesen, daß die Bodenhorizonte (Göttweiger und Kremser Horizont) keine einheitliche interglaziale Bildung darstellen, sondern daß der obere Teil fast immer ortsfremd, d. h. periglazial verfloren ist, und bereits mit dem darüberliegenden Löß zu einer Kaltzeit gehört. Es ist das besondere Verdienst seiner Arbeit, auf diese Fließvorgänge hingewiesen zu haben. Denn augenscheinlich sind auch Bodenhorizonte, die inmitten eines Lößes eingeschwemmt wurden, gelegentlich als interglaziale Bodenbildung aufgefaßt worden, was natürlich zu einer falschen Interpretation der Löße Anlaß gab.

Außer J. BÜDEL (1949) vertreten seit W. SOERGEL's Arbeit fast alle Geologen und Geographen, die sich mit Lößfragen befassen, die Ansicht, daß die beiden jüngeren Löße der Würmeiszeit angehören. Sie stellen den älteren demgemäß zur Rißeiszeit. Die Göttweiger Bodenbildung, welche zwischen den beiden jüngeren Lößen liegt, ist nun aber so mächtig, daß man nicht mehr von einem *Interstadial* im Würm sprechen kann. Der Bodentyp der Göttweiger Zone — es handelt sich i. a. um einen Braunlehm — kann nur in einer Warmzeit entstanden sein. Wir kommen also auf Grund dieser Tatsachen zwangsweise zu der Vorstellung, daß die beiden Kaltzeiten, denen die 2 Löße entsprechen, durch eine lange Warmzeit getrennt sind. Man glaubte dieser Tatsache gerecht zu werden, indem man 2 Phasen der Würmeiszeit annahm.

A. PENCK hat ursprünglich die Würmeiszeit untergegliedert, später aber seine Laufen- und Achenschwankung fallen lassen. Er glaubte längere Zeit, daß die Lößbildung ins Interglazial falle, hat aber in späteren Jahren anerkannt, daß die Löße glazialen Ursprungs sind. Größere Bedeutung für die Eiszeitgliederung hat er den Lößen jedoch nicht beigemessen.

B. EBERL (1930), J. KNAUER (1935) und J. SCHÄFER (1940) haben die würmeiszeitlichen Ablagerungen Bayerns ebenfalls zweigeteilt. Während A. PENCK (1909) die Äußere Jugendmoräne als weitesten Vorstoß auffaßte, stellen sie dieselbe zu Würm II und erblicken in überfahrenen Endmoränen innerhalb der Jungmoränenlandschaft das ältere Würm (W I).

J. SCHÄFER (1940) hat die Niederterrasse im bayrischen Rottal als Altwürm (W I) aufgefaßt, die Niederterrasse im Illertal als Jung-Würm (W II). Insbesondere wurde er neben morphologischen und petrographischen Gründen dazu veranlaßt durch die Beobachtung, daß über den Niederterrassenschottern im Rottal ein Lehm liegt, den er als Lößlehm, zugehörig zu W II, deutete. Nun ist aber keineswegs erwiesen, daß es sich bei diesem Lehm auch tatsächlich um Lößmaterial handelt, das an Ort und Stelle abgelagert wurde. Wahrscheinlich liegen periglaziale Fließerden vor, die sich aus tertiären Feinsanden, älteren verwitterten Schottern und alten Lößlehm aufbauen und vom benachbarten Hang würmeiszeitlich abflossen. H. GRAUL²⁾ hat überzeugend dargelegt, daß es sich bei den Niederterrassenschottern des Rottals um eine Ablagerung handelt, die kurz vor dem weitesten Gletschervorstoß des Würmgletschers (Äußere Jugendmoräne) vom Illergletscher aufgeschüttet wurde, zu einer Zeit also, wo der Rheingletscher die Wasserscheide Rhein-Donau noch nicht überschritten hatte und seine Schmelzwässer — wie auch später beim Rückzug wieder — am Eisrande entlang auf Umwegen zum Rißtal entsandte.

W. SOERGEL (1919) betrachtet — ebenfalls im Gegensatz zu A. PENCK — die Äußere Jugendmoräne nicht als Ablagerung des älteren Würmvorstoßes, sondern glaubt, daß die Größte Vergletscherung der Schweizer Geologen dem ältesten Würm entspricht. Er beruft sich dabei auf einige Beobachtungen im Altmoränengebiet bei Saugau sowie auf die Forschungen C. GAGEL's (1914) und M. SCHMIDT's³⁾ in der Gegend von Biberach. Die dortigen Endmoränen machen tatsächlich einen beachtenswert frischen Eindruck. Ich habe vor 15 Jahren den ganzen Kranz dieser Moränen genau kartiert und szt. festgestellt, daß sie nach ihrer morphologischen Erscheinungsform den Würmmoränen näher stehen als den Rißmoränen. Ich habe sie szt. als Riß II bezeichnet.

Inzwischen wurden nun weitere geologische Spezialkarten im Altmoränengebiet Oberschwabens aufgenommen, und insbesondere hat sich H. GRAUL neuerdings mit der Gliederung der rißeiszeitlichen Ablagerungen eingehend befaßt. Wir wissen heute, daß diejenigen Terrassenschotter, nach denen A. PENCK (1909) seine Rißeiszeit benannte, im Rheingletschergebiet zur jüngsten Rißeiszeit (= Jungriß) gehören und daß die Rißmoränen PENCK's älteren Phasen der Rißeiszeit angehören, die wir als Mittelriß und Altriß bezeichnen.

W. SOERGEL (1919) hat seinen jüngeren Löß II (nach FREISING Löß III) der Äußeren Jugendmoräne als der nach seiner Meinung jüngeren Würmphase zugeordnet, den jüngeren Löß I (FREISING's Löß II) aber denjenigen Moränen, die nach unserer neueren Auffassung zu Jungriß (oder gar zu Mittelriß) gehören. Wenn SOERGEL (1919) diese Moränen als älteres Würm aufgefaßt wissen will, dann muß dem entgegengehalten werden, daß PENCK (1909) gerade diese Moränen und die zugehörigen Schotterterrassen als klassisches Riß bezeichnet und seine ganze Eiszeitengliederung darauf aufgebaut hat. Wir können und dürfen an diesen Festlegungen nicht rütteln,

²⁾ Vortrag der Deutschen Geologischen Gesellschaft in Stuttgart 1950.

³⁾ Siehe W. SOERGEL 1919, S. 82.

wenn wir nicht die ganze PENCK'sche Nomenklatur fallen lassen wollen. Aber SOERGEL hat — wohl mehr intuitiv — ganz richtig erfaßt, daß der Löß III zu derjenigen Eiszeit gehört, welche durch den Äußeren Jungendmoränenkranz und die zugehörige lößfreie Niederterrasse durch PENCK als Würmeiszeit festgelegt wurde. Auch den Löß II hat SOERGEL im großen ganzen geologisch richtig eingeordnet, er hat nur die PENCK'sche Nomenklatur falsch angewandt. Heute, wo genauere geologische Untersuchungen vorliegen, können wir sagen, daß der Löß II zur Jungriß-Eiszeit gehört. Der ältere Löß (Löß I) müßte folgerichtig zur Mittelriß-Eiszeit gestellt werden. Aber darüber läßt sich heute noch nichts sagen, weil genaue Profilaufnahmen in denjenigen Gebieten fehlen, wo man über die Stratigraphie der Schotterterrassen im Klaren ist.

Wenn wir die beschriebenen Verhältnisse im Alpenvorland stratigraphisch auswerten wollen, dann ergibt sich zwangsläufig, daß nur ein einziger Löß würmeiszeitlich ist, nämlich der Löß III. Er liegt auf der verwitterten Jungrißterrasse.

Wir müssen ferner, wollen wir den Auffassungen PENCK's über Altmoräne-Hochterrasse gerecht werden, den Löß II ins Jungriß stellen, den Löß I zu Mittelriß. Die Zweigliederung der Würmeiszeit muß fallen, die Innere Jungendmoräne sinkt zur Bedeutung eines einfachen Rückzugstadiums herab, wie dies bereits J. SCHÄFER (1940) aufgefaßt wissen wollte.

Daß es nur eine Würm-Eiszeit gibt, wie BÜDEL sagt, dafür sprechen folgende Tatsachen:

1. Auf der Niederterrasse fehlt Löß im allgemeinen mit geringen Ausnahmen, die als postglazial betrachtet werden. Dies ist eine Selbstverständlichkeit, da die Niederterrasse ja Ausblasungsgebiet war und keine Grasnarbe trug, so daß es auch aus diesem Grunde nicht zur Ablagerung von Löß kommen konnte. Löß kann sich auf Terrassenschottern überhaupt erst dann ablagern, wenn sich im Verlauf einer Warmzeit eine genügend dicke Verwitterungs- bzw. Bodendecke gebildet hat. Nur auf einem Verwitterungsboden kann eine Grastundra sich halten, während reine Schotter so durchlässig sind, daß das Bodenwasser für Pflanzenleben unter eiszeitlichem Klima nicht ausreicht. Der Niederterrassenschotter im Rottal ist von gleichaltrigem periglazialen Gehängeschutt überdeckt worden, nicht von Löß.
2. Auf der verwitterten Jungriß-Terrasse liegt nur ein einziger Löß, nämlich der Würm-Löß = Löß III. Hätten wir 2 Würmlöße, dann müßten wir sie auf den jüngsten Rißterrassen (also PENCK's klassischem Riß) irgendwo finden. Dies ist bis jetzt an keiner Stelle gelungen.
3. Die Verwitterung der würmeiszeitlichen Ablagerungen — Moränen wie Terrassenschotter — ist im ganzen Bereich des Rheingletschers, und soweit meine Beobachtungen reichen, unter Berücksichtigung besonderer lokaler Verhältnisse (vgl. F. WEIDENBACH 1939) auch im übrigen Alpenvorland überall etwa gleich tief; bei den Schotterterrassen des Rheingletschers etwa 70 cm bis 1 m. Sie steht in gutem Einklang mit der Verwitterungstiefe des Löß III.
4. Im Jungmoränengebiet sind augenscheinliche morphologische Unterschiede nicht vorhanden. Wenn die Innere Jungendmoräne

einer selbständigen Kaltzeit entsprechen würde, müßten aber die außerhalb liegenden Würmmoränen (periglazial) verflossen sein und evtl. örtlich auch Lößüberwehungen zeigen.

5. Die Niederterrassen sind — mit Ausnahme der Rottalterrasse — immer mit morphologisch scharfer Unterschneidungskante gegen die umgebende Landschaft abgegrenzt und tragen nirgends periglaziale Schuttdecken.

In neuerer Zeit kommt auch A. JAYET (1946 u. 1947) zu der Ansicht, daß es nur ein Würm gibt. Alle innerhalb PENCK's Äußerer Jung-Endmoräne liegenden Moränenkränze betrachtet er als Rückzugsstadien.

Die Unsicherheit, die in den letzten Jahren mit dem zweifellosen Fortschritt unserer geologischen Erkenntnisse in die Chronologie des Eiszeitalters und die Stratigraphie der eiszeitlichen Ablagerungen hereingekommen ist, beruht darauf, daß es an einer Gesamtschau aller eiszeitlichen Erscheinungen fehlte. Man kann keine stratigraphischen Arbeiten nur auf Grund der Ablagerungen im einst vergletscherten Gebiet machen, ohne daß man die periglazialen Erscheinungen und insbesondere die Löße berücksichtigt und umgekehrt. Ferner hat man aber auch immer wieder versucht, die geologischen — und vorgeschichtlichen — Erkenntnisse in Einklang mit der Strahlungskurve zu bringen. Dabei wurde der Strahlungskurve vielfach unbewußt, wenn auch nicht zugestanden, der Vorrang eingeräumt. Solange wir in der Diluvialgeologie die PENCK'sche Nomenklatur verwenden, müssen wir uns aber auch an seine Terminologie halten, ob nun unsere Forschungsergebnisse mit der Strahlungskurve harmonisieren oder nicht. Dies besagt gar nichts gegen die Strahlungskurven selbst. Vielleicht müssen wir sie nur anders übersetzen, als dies bisher geschah. Vielleicht sind wir dann auch bald in der Lage, jedem Strahlungsminimum eine entsprechende Kaltzeit zuzuordnen, jedem Maximum eine Warmzeit.

Zusammenfassung. Die Löße stellen zum weitaus überwiegenden Teil das Ausblasungsprodukt aus glazialen Schotterfluren dar, die während der Kaltzeiten infolge eustatischer Meeresspiegelschwankungen weit ins Gebiet der heutigen Schelfmeere hinaus reichten. Demgegenüber ist der Lößanteil mengenmäßig untergeordnet, der aus der Frostschuttzone, aus den Moränen oder aus dem trockengefallenen Schelf ausgeblasen wurde. Die Löße sind vorwiegend hochglazial. Ein kleiner Teil gehört sicher der Vorstoßphase an. Dagegen hört die Lößbildung unmittelbar nach dem Höchststand der Gletscher auf. Rückzugs-löße spielen in der Gesamtbilanz der Löße eine sehr geringe Rolle. Der Löß III gehört der Würm-Eiszeit (im Sinne PENCK's), der Löß II der Jungriß-Eiszeit und der Löß I wahrscheinlich der Mittelriß-Eiszeit an. Es gibt nur eine einzige Würmeiszeit. Die MILANKOVITCH'sche Strahlungskurve ist falsch interpretiert worden und hat zu Verwirrungen in der Eiszeitenchronologie und Stratigraphie geführt.

Verzeichnis der angeführten Schriften

- BÜDEL, J.: Die morphologischen Wirkungen des Eiszeitklimas im gletscherfreien Gebiet. - Klimaheft der Geolog. Rundschau, 1944. — Die räumliche und zeitliche Gliederung des Eiszeitalters. - Die Naturwissenschaften, 1949.
- EBERL, B.: Die Eiszeitenfolge im nördl. Alpenvorland. Augsburg 1930.
- FREISING, H.: Neue Ergebnisse der Lößforschung im nördl. Württemberg. - Jh. Geol. Abt. d. württ. statist. L.A. 1, 1951.
- GAGEL, C.: Probleme der Diluvialgeologie. - Branca-Festschrift 1914. — Die letzte große Phase der diluvialen Vergletscherung Norddeutschlands. - Geol. Rundschau 6, 1915.

- GANSSEN, R.: Die Entstehung und Herkunft des Löß. - Mitt. a. d. Labor. d. preuß. geol. L.A. 4, 1922.
- GRAHMANN, R.: Der Löß in Europa. - Mitt. Ges. Erdk. Leipzig 51, 1930/31.
- HEIM, A.: Geologie der Schweiz. 1917.
- JAYET, A.: Les stades de retrait würmiens aux environs de Genève. - Ecl. geol. Helv. 39, 1946. — Une nouvelle conception des glaciations quaternaires, ses rapports avec la paléontologie et la préhistoire. - Ecl. geol. Helv. 40, 2, 1947.
- KEILHACK, K.: Das Rätsel der Lößbildung. - Z. deutsch. geol. Ges. 72, 1920.
- KNAUER, J.: Die Ablagerungen der älteren Würmeiszeit (Vorrückungsphase) im süd-deutschen und norddeutschen Vereisungsgebiet. - Abh. geol. Landesunters. bayr. Oberbergamt 1935.
- LAUTERBORN, R.: Über Staubbildung aus Schotterbänken im Flußbett des Rheins, ein Beitrag zur Lößfrage. - Verh. naturhist. med. Ver. Heidelberg. N.F. 11, 4, 1912.
- PENCK, A. & BRÜCKNER, E.: Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig 1909.
- POSER, H.: Boden- und Klimaverhältnisse in Mittel- und Westeuropa während der Würmeiszeit - Erdkunde 1948.
- RICHTHOFEN, F. von: China, Bd. 1.
- SCHÄFER, J.: Die Würmeiszeit im Alpenvorland zwischen Riß und Günz. Augsburg 1940.
- SOERGER, W.: Löße, Eiszeiten und paläolithische Kulturen. - G. Fischer, Jena, 1919.
- WAGNER, G.: Erd- und Landschaftsgeschichte 1950.
- WEIDENSACH, F.: Grundsätzliche Bemerkungen zur Ausdeutung eiszeitlicher Erscheinungen. - Oberrhein. geol. Ver. 1938.
- WOLDSTEDT, P.: Das Eiszeitalter. Grundlinien einer Geologie des Diluviums. - Ferd. Enke, Stuttgart 1929.

Ms. eing.: Mai 1951.

Probleme der Terrassenbildung

Von Paul Woldstedt. Mit 3 Abb. im Text

Die meisten größeren Flüsse, z. B. Mitteleuropas, zeigen sich begleitet von einem ganzen System höherer Terrassen. Sind diese Terrassen, soweit nicht überhaupt tektonische Entstehung angenommen wird, glazialen oder interglazialen Alters? Das ist die alte Streitfrage, die in vielen Schriften zahlreicher Autoren behandelt worden ist. Es wird hier natürlich abgesehen von den Schottern und Sanden, die in unmittelbarer Verknüpfung mit Endmoränen u. dgl. auftreten. Daß diese glazial sind, wird von niemand bestritten. Wie steht es aber mit den Terrassen im Zwischenland?

I.

In Deutschland hat sich, hauptsächlich unter dem Einfluß von W. SOERGER (vgl. bes. 1921, 1925, 1939), die Ansicht durchgesetzt, daß alle Terrassen glazial-klimatisch bedingt seien, d. h. also in die Vorstoßphase der Vereisungen gehörten. Dafür sprechen vielfältige Beobachtungen: das Auftreten einer ausgeprägt kalten Fauna (mit *Elephas primigenius*, *Rhinoceros tichorhinus*, *Ovibos moschatus* usw.) in den oberen Partien der Terrassen, Verknüpfung mit glazifluvialen Ablagerungen, schließlich Überlagerung und Abschluß der Terrassenbildung durch Grundmoräne, vielfach unter Einschaltung von Bändertonen. Seit den klassischen Untersuchungen von SIEGERT & WEISSERMEL (1911) im Saaleraum ist dies aus zahlreichen anderen Gebieten beschrieben worden, so von R. GRAHMANN (1925) aus Ober-Sachsen.

Aber seit langem waren auch Terrassen bekannt, in denen bisher nur eine warme Fauna gefunden war. SIEGERT & WEISSERMEL (1911) wiesen im Saalegebiet eine Terrasse nach, die jünger als die Elstervereisung und älter als die sog.