

Die Talbildung durch Schuttgerinne.

Von

Otto Lehmann.

(Mit 2 Tafeln und 4 Figuren im Text.)

I.

In Gebirgen aus wenig durchlässigen Gesteinen, wo zugleich eine Verwitterungsdecke und Pflanzenwuchs sich hinziehen über Wasserscheiden und Abhänge, führen die kleinsten Nebentäler und fast alle Ursprungstälchen für gewöhnlich kein fließendes Wasser¹⁾. Die Hauptursache davon ist, daß bloß Schuttquellen und -gerinne in ihnen vorkommen, die nur zur Zeit stärkerer Regen oder bei Schneeschmelze zu fließen beginnen, um wenige Stunden oder Tage danach wieder aufzuhören. Unter solchen Umständen entwickeln sich die Täler nicht in der Weise, wie sie bisher im geographischen Zyklus abgeleitet ist. Darum ist das Folgende vor allem als Beitrag zu dieser Lehre gedacht, indem, um mit W. M. Davis zu reden, die Schuttgerinne in den Rahmen des Zyklus eingeführt werden.

Die Gehänge aller Täler und Talstrecken, in denen das Wasser nur mit häufigen und erheblichen Unterbrechungen fließt und einschneidet,

Fig. 1.



Querschnitt eines vollkommenen Tobeltälchens. abba: der Tobel; bccb: die kleine Schutt-schlucht; ab: die Tobelgehänge; a: die Tobelränder, darüber das sanfte Gehänge.

haben den hier abgebildeten Querschnitt oder eine seiner Entwicklungsformen.

Der in Süddeutschland volkstümliche Ausdruck „Tobel“ wurde in die Fachsprache von Göttinger eingeführt, der auch hervorhob, daß der abgebildete Talquerschnitt nicht vielleicht, wie es scheinen könnte, durch Neueinschneiden des Wassers infolge einer Gebirgshebung oder gleichwertiger Ereignisse entstanden ist²⁾. Was Fig. 1 im Schnitt darstellt, das zeigen in kleinen aber übersichtlichen Verhältnissen die Lichtbilder 1 und 4 der Tafeln 2 und 3. Das Bild 2 gewährt vor allem einen Blick auf die sanften Gehänge, das Bild 3 stellt einen weniger entwickelten Zustand der Talbildung durch ein Schuttgerinne dar. Alle Aufnahmen stammen aus dem Wiener Wald, nahe der Grenze des Weichbildes der Stadt Wien. Sie zeigen jene bescheidenen Bodenformen, deren sich jeder erinnert, der einmal ein heimatliches Waldgebirge durchstreifte;

dennoch wäre die Beschreibung ihrer Einzelheiten bloß durch Worte und dürre Striche recht umständlich und nur mangelhaft möglich³).

Man sieht auf den Bildern 1 und 3 die trockenliegenden Furchen der Schuttgerinne als kleine Schluchten mit lotrechten, zum Teil sogar überhängenden Wändchen. Das Gefälle zeigt Stufen von wenigen Dezimetern Höhe, die Tiefe nimmt dabei von etwa 0,5 auf 1 m zu, um weiter talabwärts, als man auf den Bildern sieht, Manneshöhe zu erreichen. Auch nach mehrtägigen Herbstregen waren diese Talanfänge spätestens am zweiten niederschlagfreien Tage schon ganz trocken. Über der kleinen Schlucht zeigt Bild 1 mit Erde und Laub überzogene bewachsene Tobelgehänge von rund 30—35° Neigung, darüber liegen sanftere Böschungen. Der obere Rand des Tobels geht jedoch — abweichend von dem Schnitt in Fig. 1 — ganz allmählich nach oben zu den sanfteren Neigungen über. Schärfere Tobelränder über steileren Gehängen, entsprechend den Stellen a und der Strecke ab von Fig. 1 finden sich heute bald unterhalb der aufgenommenen Talanfänge. Den Ansatz dazu zeigt das untere Bild 2 der Tafel 2. Man sieht ihn im rechten Drittel im Vordergrund. Ein sehr scharfer Tobelrand ist auf der nächsten Tafel im Bilde 4 festgehalten.

Es liegt ohnehin nahe, die Tobel für erweiterte ältere Schluchten anzusehen, weil deren übersteile Wändchen sich nicht für immer unversehrt erhalten können und beim Einsturz minder steile Böschungen entstehen müssen. Das Bild 3 zeigt nun eine recht oft mögliche Beobachtung, die das Gesagte bestätigt. Ganz links im Vordergrund setzt die steilwandige Schlucht aus. An ihre Stelle trat, am rechten Gehänge deutlich sichtbar, eine Schrägböschung. Ihr oberer scharfrandiger Teil entblößt ein ausgebreitetes Wurzelgeflecht. Dies ist der Anfang der Tobelbildung des betreffenden Tälchens, unter ihr entstand seither erst eine undeutliche Bettfurche. Eine neuerliche ausgiebige und wiederholte Wasserführung könnte das zum Tobel gewordene Stück der tiefen kleinen Schlucht wieder ersetzen. Die Folge wäre der Anblick, den Bild 1 oder 4 bieten oder der Querschnitt Fig. 1. Es sind rasche Vorgänge, wie kleine Abbrüche und Rutschungen, die bei der Zerstörung der Wändchen und Anlage der Tobel am allermeisten wirken.

Die Tobelgehänge auf Tafel 2 und 3 sind demnach zwar das Ergebnis, aber seit langem nicht mehr der Schauplatz gewaltsamer Massenbewegungen. Erst weitere Einstürze an den inzwischen neuentstandenen Schluchtstrecken können dies ändern. Heute überzieht eine dünne Decke von Laub, Erde und Schutt die schon bewaldeten und ziemlich flach gewordenen Tobelgehänge. Nur langsam wandert der Schutt von ihnen zum Einschnitt der Schlucht⁴). Dem entspricht auch die deutlich gehängeabwärts gekrümmte Gestalt des Fußes der Baumstämme, die die Bilder zeigen⁵). Sie ist eine häufige und gesetzmäßig verbreitete Erscheinung, wo die Verwitterungsdecke an Abhängen mindestens zeitweise eine Mächtigkeit von etwa 10—20 cm erlangt, und wo ihre oberen Teile sich rascher als die tieferen bewegen (vgl. außer den erwähnten Bildern die Abb. „d“ auf Tafel 1 im Werke von G ö t z i n g e r). Die Schuttbewegung, welche die krumme Gestalt der untersten Teile der heute recht dicken Baumstämme verursachte, liegt Jahrzehnte zurück. Seitdem hat sich in ihrem

Bereich die Erdoberfläche an den Tobelgehängen fast nirgends in merkbarer Weise verändert.

Seitlich über dem Tobel liegen die schon erwähnten erheblich sanfteren Gehänge. Auf ihnen sind die Baumwurzeln soweit entblößt, daß die Bäume wie auf kurzen Stelzen stehen, während sie im übrigen meist ganz gerade gewachsen sind. Es handelt sich, wie die Bilder zeigen, um Bäume mit dicken Wurzeln. Hier hat also vor nicht gar langer Zeit eine verhältnismäßig rasche Beseitigung von Verwitterungsschutt stattgefunden. Stellenweise kann dies auch für die Gegenwart angenommen werden, wie noch näher gezeigt wird. Junge dünne Bäumchen wären durch diese Bewegung entwurzelt worden, ein Schicksal, das sogar eine Buche von der durchschnittlichen Dicke der abgebildeten Bäume erlitt.

Warum in der letzten Zeit gerade auf den sanften Gehängen eine so rasche Entfernung von Schuttmassen ihren Ausgang nahm, läßt sich erkennen. Es ist dies die Folge einer starken Durchfeuchtung des Schuttes, der die geringe Neigung über dem Tobel Vorschub leistet. Sie verursacht ein Anschwellen des Schuttwassers und schwächt überdies die Wirkung der Schwerkraft gegenüber dem Aufsaugungsvermögen des Schuttes ab. Daher verzögert sich nicht nur das selbständige Abfließen des Schuttwassers, sondern ein Teil davon bleibt völlig der sehr langsamen Verdunstung aus dem Boden überlassen. Diese aber reicht durch Wochen und Monate nicht hin, um den Waldboden der sanften Gehänge auszutrocknen. Die Feuchtigkeit verursachte eine kleine Rutschung, bei der, allerdings nahe dem Rande des Quelltrichters, eine noch grünende Buche zum guten Teil entwurzelt wurde. Sie sank um und lehnt nun an einer anderen (vgl. die Tafel 2). Man sieht; die Schuttbewegung auf dem sanften Gehänge ist bis zuletzt so rasch gewesen, daß sie leicht die Grenze überschritt, bei der der Zusammenhang der Verwitterungsdecke noch gewahrt bleibt⁶). Die Durchtränkung des Schuttes hat noch eine, auf den Bildern sichtbare Folge. Gegenüber der umgesunkenen Buche erkennt man am linken Gehänge einen lichten Streifen, der sich vom höheren Gehänge in den Quelltrichter hineinzieht. Dort ist eine „Naßgalle“, wie die Bevölkerung sagt, ein sehr feuchter Bodenfleck, auf dem sich eine üppige Kräuterschar ansiedelte. Ihr helles Grün hebt sich vom bräunlichen, welken Laub weithin sichtbar ab.

Die rasche Abwanderung des Schuttes von den sanften Gehängen über dem Tobelrand hat also in der letzten Zeit eine Erniedrigung der Erdoberfläche hervorgerufen, die auch auf den oberen Teil der Tobelgehänge übergreif, indem sie deren Ränder so stark zurundete. Betrachten wir nun das Verhältnis der Vorgänge beiderseits vom Tobelrand im Zusammenhang. Wenn auch über ihm eine raschere Schuttbewegung den Ausgang nahm, so besagt das nicht, daß sie auf den steileren Tobelgehängen langsamer war. Der Schutt des höheren Gehanges verlor ja beim Betreten der Tobelböschungen nicht sofort seine Feuchtigkeit⁷), und mußte sich sogar von da an rascher bewegen. Er kann nun auf dem unteren Teil der Tobelgehänge nicht seit Jahrzehnten nahezu still gelegen haben, weil sich sonst durch Stau eine Aufschwellung der oben abgewanderten Schuttmassen zeigen müßte. Aus ihrem Fehlen folgt nur, daß der Schutt auf den Tobelgehängen mindestens ebenso rasch herabwanderte wie oben.

Er packt heute den Fuß der Baumstämme ein, oder gelangte schon in die Schuttschlucht. Die Erdoberfläche auf den Tobelgehängen wurde, abgesehen vom zugerundeten oberen Rand deshalb nicht merklich verändert, weil hier der abgewanderte Schutt durch zugewanderten ersetzt wurde. Versteht man unter *Abtragung* in unserem Fall wörtlich die Bewegung des Schuttes, so war sie an den Tobelgehängen mindestens ebenso rasch wie über ihnen; versteht man darunter aber die Tieferlegung der Erdoberfläche, so war sie rasch über den Tobelrändern, unmerklich weiter unten. Da unter anderen Verhältnissen auch die Raschheit der Verwitterung örtlich die Geschwindigkeit der Abtragung beeinflusst, erweist sich dieser Begriff als viel zu verschwommen für eine vergleichende Erfassung des Maßes der Vorgänge. Ich kann aber nicht hoffen, dem vieldeutigen Wortgebrauch ein Ende zu bereiten, indem ich einen ganz bestimmten Sinn auswähle, darum verzichte ich im folgenden gänzlich auf den Ausdruck „Abtragung“.

Es ist leicht einzusehen, daß die Entwicklung des Gehänges nicht so weiter gehen kann. Denn sobald auf den sanften Gehängen nur noch der gröbere Schutt übrig bleibt, den das feiner verzweigte Wurzelgeflecht stützt, muß seine Durchträngung mit ihren Folgen abnehmen. Damit verlangsamt sich auch die Wanderung, bis er wieder in kleinere Teile zerbröckelt sein wird. Inzwischen wird sich die größere Steilheit der Tobelgehänge derart geltend machen, daß sie immer mehr auch eigenen Verwitterungsschutt abführen und zwar rascher, als solcher von oben her zuwandert. Infolgedessen muß sich bald am zugerundeten Tobelrand die Schuttdecke verdünnen, was daselbst die Verwitterung des anstehenden Gesteins fördert. So wird eine weitere Verwischung des Tobelrandes zustande kommen, verbunden mit einer Abflachung der Tobelgehänge von oben her. Wenn nicht rechtzeitig neue Massen an den Tobelgehängen abbrechen und deren oberer Rand dadurch zugeshärft wird, so muß nach völliger Vernichtung des Tobelrandes ein *Ausgleichsgehänge* entstehen. Spätere Schluchten führen dann beim Verstürzen zur gänzlich neuen Wiederanlage eines Tobels.

Nach dem bisher Gesagten sind die kleinen Schluchten ohne Zweifel das Werk der zeitweiligen Wasserläufe, auch die Entstehung der Tobel ist ziemlich aufgeklärt. Von den sanften Gehängen über ihnen steht aber nur soviel fest, daß sie ihre heutige Form auch den Ausgleichsbewegungen des Schuttes verdanken, ihre erste Anlage kann aber erst nach längeren Ausführungen erschlossen werden.

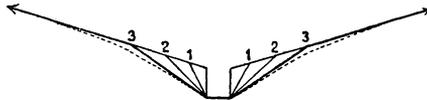
II.

Sehr wichtig ist die Größe aller Teile eines Tobeltälchens; sie hängen dabei gegenseitig voneinander ab. Die Schluchten werden um so tiefer, je mehr eine einmalige Wasserführung des Gerinnes leisten kann und je öfter diese fließen, aber auch je länger die Wändchen vor dem Einsturz bewahrt bleiben. Tatsache ist, daß Schluchtstrecken von über 1,5 m Tiefe schon recht seltene Ausnahmen bei reinen Schuttgerinnen sind, d. h. beim Fehlen anderen Quellwassers. Nun ergab eine nähere Untersuchung der kleinen Schluchten, daß das abfließende Schuttwasser fast nie weiter

in die Tiefe schneidet, als die in der Zwischenzeit vorangegangene Zersetzung des Gesteins auf dem Bettgrunde hinabreicht. Diese Zersetzung ist gefördert, weil nach jeder Wasserführung nasser Schutt und zeitweilig selbst Pfützen in den Schluchten bleiben, die das Gestein am Grunde zermürben, wodurch auch der Fuß der Wändchen unterwittert wird. Man findet fast immer das frische Anstehende an den Tobelgehängen viel weniger dick vom Schutt überzogen als in den Schluchten. Diese verdienen also den Namen *Schutt schluchten* durchaus, auch wenn man sich vor Augen hält, daß das Anstehende der Rückhalt ihrer Wändchen ist. Die reinen Schuttgerinne vertiefen ihre Schluchten oft nicht einmal so weit, als ihnen die Verwitterung vorgearbeitet hat. Denn ihre Kraft reicht nicht bei jeder Wasserführung hin, außer dem vom Gehänge ins Bett gelangten Schutt den an Ort und Stelle hinzugewitterten mitzunehmen. Ein Einschneiden ins feste Gestein kommt bei reinen Schuttgerinnen selten vor und ist meist recht unbedeutend.

Es ist also wichtig festzuhalten, daß das „Einschneiden“ der Schluchten ebenso von der Geschwindigkeit der Verwitterung abhängt, wie die Erniedrigung der wasserscheidenden Rücken zwischen benachbarten Tobeltälchen oder die Verwischung der Tobelränder. Fortgeschafft wird das

Fig. 2.



Entwicklung eines Tobels aus einer Schlucht zwischen schon vorhandenen sanften Gehängen. 1, 2, 3: Aufeinanderfolgende Lagen der Tobelränder. Bei 3 ist die Abflachung auf 35° erreicht. Gestrichelt: Begonnene Zurundung des Tobelrandes. Die Tobelgehänge unter 1 und 2 sind meist nicht so glatt, wie gezeichnet.

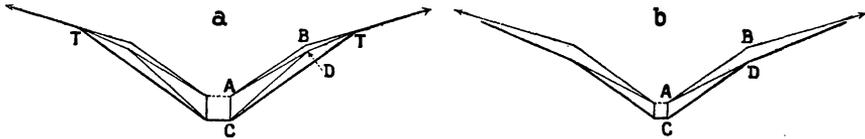
Verwitterte von den schwächlichen Wasserläufen auch nicht immer rascher als von der Wanderbewegung, wenn man die in langen Zeiträumen abgetragenen Mengen in Anschlag bringt.

Wenden wir uns nun den Tobeln zu, so zeigt sich auch ihre Tiefe als ein von mehreren und zudem veränderlichen Einflüssen abhängiger Wert. Als Tobeltiefe bezeichnen wir den senkrechten Abstand der Tobelränder vom Fuße der Tobelgehänge. Ein Tobel, der durch den Einsturz einer Schlucht entsteht, ist um so tiefer, je tiefer diese war. Wovon die Tiefe eines Tobels sonst noch abhängt, geht in der Hauptsache aus den Fig. 2 und 3 hervor. Danach wird ein jeder Tobel zwischen schon vorhandenen Gehängen auch später noch tiefer, solange er sich erweitert, weil seine Ränder seit- und aufwärts rücken. Das Breiten- und Tiefenwachstum erfolgt nur in der Zeit, während welcher die Tobelgehänge noch steil genug sind, um gewaltsame Massenbewegungen zu bedingen. Diese können übrigens das Werk, das in Fig. 2 in mehreren Teilen veranschaulicht ist, je nach ihrem Ausmaße in einem oder zwei Rucken vollenden. Sind aber die Abbrüche oder Rutschungen kleiner, so werden die Tobelgehänge erst nach längerer Zeit im Durchschnitt flacher. Bei Waldwuchs ist eine Böschung von etwa 35° die Grenze, unter der solche rasche Massenbewegungen selten werden und der langsamen Schuttwanderung das Feld räumen; damit sind nur noch gelegentlich ganz seichte Rutsche durch-

tränkten Schuttes verbunden, wie auch schon an den Bildern dargelegt wurde. Von da an beginnt mit dem weiteren Flacherwerden der Gehänge des Tobels die Verwischung seines Randes durch die ausgleichende Arbeit des Schuttwanderns, worauf die gestrichelte Linie in Fig. 2 Rücksicht nimmt. In Wirklichkeit war jene Ausgleichsarbeit schon früher in den Pausen zwischen den ruckweisen Massenbewegungen am Werke, was aber als zu geringfügig in Fig. 2 nicht deutlich gemacht werden konnte. Von einem Breiterwerden der Tobel als eigener Formen kann nur noch am Anfang der Ausgleichung gesprochen werden. Fig. 2 lehrt auch, daß ein Tobel um so tiefer wird, je steiler die schon früher vorhandenen Gehänge sind; man braucht nur die Linie, auf der die Punkte 1, 2, 3 liegen, mit stärkerer Neigung einzuzeichnen.

Betrachten wir den Fall, daß ein Tobel durch Einsturz mehrerer Schluchtbildungen seine Tiefe erlangte, so ist es klar, daß er um so tiefer ausfallen wird, je mehr die Tiefen der einzelnen Schluchten zusammen

Fig. 3.



Vertiefung (a) und Auffrischung (b) eines Tobels nach einmaliger Neuanlage der Schlucht.
 Zu a) AB: Altes Tobelgehänge bei 35° Neigung. Der Tobelrand entspricht „3“ in Fig. 2.
 BD: Erniedrigung des Gehänges unter den alten Tobelrand B infolge seiner Verwischung.
 AC: Tiefe d. neuen Schluchtbildung. $AC > BD$!
 CD: Neue Tobelgehänge, wenn der neue Tobel die Breite des alten erlangt hat. D: Wieder geschärfter Tobelrand. CT: Gehänge des neuen Tobels bei 35° Neigung. (CT \parallel AB) T ist dann knapp vor der Zurundung. Der neue Tobel ist breiter und tiefer als der alte!
 Zu b) AB, BD, AC wie bei a). $AC = BD$!
 CD: Neues Tobelgehänge bei 35° Neigung, (CD \parallel AB) D, der neue Tobelrand ist dann knapp vor der Zurundung. Der neue Tobel wird nur gleich breit und tief wie der alte!
 Anm.: Vor Ausbildung des neuen Tobelgehänges CD kann in beiden Fällen der neue Tobel in den alten eingeschaltet erscheinen.

ergeben. An sich ist der Fall nur möglich, wenn jede spätere Schlucht zum Tobel wird, bevor noch die ältere Tobelform ausgeglichen ist, wenn also deren Rand noch deutlich ist. Im Hinblick auf Fig. 2 heißt das, die Neubildung eines Tobels muß erfolgen spätestens, wenn der alte Rand die Lage 3 hat. Gemäß dieser Annahme ist der weitere Vorgang in Fig. 3 dargestellt und unter ihr erläutert.

Hätten statt der älteren Tobelform schon einfache Ausgleichsgehänge bestanden, so wären selbst bei gleicher Tiefe der neuen Schlucht keine so tiefen neuen Tobel entstanden wie in Fig. 3, sondern es hätte sich der in Fig. 2 erläuterte Fall wiederholt. Dabei würde die Tiefe des neuen Tobels nur durch die Neigung des Ausgleichsgehänges beeinflusst, von der später die Rede sein wird.

Leicht läßt sich auch der Fall erörtern, daß die Tiefe der neuen Schlucht kleiner ausfällt als die Erniedrigung des Gehänges unter den Tobelrand, die während der Anlage dieser Schlucht und ihrer Umwandlung in einen frischen Tobel stattfindet ($AC < BD$ in Fig. 3). Dann wäre in der Fig. 3 b die Linie CD weniger als 35° geneigt. Hieraus folgt aber, daß der neue Tobelrand schon vor Eintritt dieser so flachen Böschung CD zugerundet und dabei näher an der Talmitte und in tieferer

Lage verwischt wird. Man zeichne sich Fig. 3 auch für diesen Fall und wird sich dann die Richtigkeit des in Worte Gefaßten vielleicht besser vorstellen können.

Beide so wichtigen Werte: A C und B D hängen vor allem davon ab, wie rasch die Verwitterung, dort in der Schlucht, hier an den Tobelrändern, arbeitet und arbeiten kann. Ihre Leistungen schwanken natürlich an beiden Stellen etwas und das erklärt, daß die drei Möglichkeiten: $AC \approx CD$ auch in der Natur auftreten. Das wird noch genauer belegt werden. Abbildung 3 stellt das Wechselspiel zwischen Abrundung und Zuschärfung des Tobelrandes nur in einem einmaligen Ablauf dar, und die Deutlichkeit der Zeichnung verlangte eine starke Wirkung der jeweils überwiegenden Kräfte. In Wirklichkeit sind aber wohl viel kleinere, kurzfristige Schwankungen der Form des Tobelrandes die Regel.

Faßt man zusammen, was über die Größe der Tobel gefunden wurde, so gilt: Ein solcher ist um so tiefer, je mehr der Wert A C den Wert B D übertrifft, oder auch je öfter dies hintereinander vorkommt. Geschieht es bei zwei Tobeln in gleichem Maße, so ist nach Abb. 2 derjenige tiefer, der älter ist, oder bei gleichem Alter rascher in die Breite und Tiefe wächst, soweit dies durch Emporschieben des Randes erfolgt. Den umgekehrten Fall wollen wir sogleich behandeln, nachdem die sanften Gehänge besprochen sein werden.

Unterbleibt die Schluchtbildung und ihre Folge lange genug, so entstehen vor jeder neuen Tobelform Ausgleichsgehänge. Die Verwischung des Tobelrandes bedeutet nichts anderes, als daß unter ihm das Gehänge durchschnittlich sanfter, über ihm steiler wird. Es ist nebensächlich, ob er dabei schon in zugerundeter Form noch etwas auf- oder abwärts verschoben wird. Nun sind die Tobel der Schuttgerinne meist nur wenige Meter tief, während die sanften Gehänge gewöhnlich mindestens um den zehnfachen Betrag emporsteigen zu den seitlichen Wasserscheiden. Verschmelzen die Böschungen beider, so ist das Ausgleichsgehänge nur wenig steiler, als früher die sanften Gehänge waren, jedoch erheblich flacher als die frischen Tobelböschungen. Weil aber auch die Wasserscheiden fortwährend tiefer gelegt werden, so werden die Ausgleichsgehänge selbst bald wieder ganz sanft. Die auf den Wasserscheiden durch das ständige Wegwandern des Schuttes begünstigte Verwitterung bewirkt, daß sie in längeren Zeiten ungefähr ebensoviel wie der Grund der Schluchten tiefer gelegt werden. Daraus folgt, daß ein neuer Tobel zwischen Ausgleichsgehängen ungefähr nur ebenso tief werden kann wie der erste, der sich seinerzeit zwischen vorhandenen sanften Gehängen ausbilden konnte. Je seltener also neue Tobel entstehen, desto flacher werden inzwischen die Ausgleichsgehänge und desto weniger weit können die Tobel bis zum Eintritt der Verwischung den Rand an den Ausgleichsgehängen emporschieben. Diese Tobelränder liegen denn auch, so lange sie zu erkennen sind, um so niedriger und zugleich um so näher der Talmitte des Schuttgerinnes. Selbstverständlich fallen die Tobel auch unter diesen Umständen um so seichter aus, je seichtere Schluchten ihnen zugrunde liegen.

Findet man also derart tiefgelegene noch deutliche Ränder eines Tobels, unter denen schuttbedeckte, bewachsene Böschungen liegen,

mit Neigungen von 40—35°, so können jene nicht mehr weit oder gar nicht mehr emporrücken, aber sie sind auch nicht etwa am Gehänge herabgedrückte, einst höhere Tobelränder. Nur in einem Sinne könnte davon die Rede sein, daß sie nicht nur tiefer gelegt werden wie es bei der Verwischung eintreten muß, sondern am Gehänge als deutliche Gebilde herab- und der Talmitte näherrücken. Dies ist möglich, wenn bei kurzfristigem Wechsel zwischen den sie abrundenden und zuschärfenden Kräften der Schauplatz dieses Kampfes immer mehr am Gehänge herabsinkt (vgl. S. 52 und 54). Hierzu ist die an sich schon unwahrscheinliche Annahme unnötig, daß der Schutt auf den sanften Gehängen sich rascher bewege als auf den Tobelgehängen. Bedingung ist aber, daß kein längerer Stillstand des Einschneidens der Schluchten und seiner Folgen eintrete. Denn sonst würde der Tobelrand ohne wesentliche Verschiebung sozusagen an Ort und Stelle erniedrigt und verwischt werden.

Die sanften Gehänge sind bei ausgebildeten Tobeltälchen nach Form und Lage das Ergebnis der Ausgleichsbewegung des Schuttes. Auch die flachste Neigung ist bei ihnen meist kein Grund, die Beteiligung früherer Tobelgehänge an ihrem Böschungswinkel abzulehnen.

III.

Die erste Anlage der sanften Gehänge ist aber immer noch nicht aufgeklärt. Wenn man sie in der heutigen Form, so wie es eben dargelegt wurde, auffaßt, so setzt auch die älteste Ausgleichung schon das Vorhandensein der sanften Gehänge über dem Tobel voraus.

Wieder führen scheinbar abliegende Erwägungen dem Ziele näher. Im Unterlauf vieler Tobeltälchen, wo das Gefälle schon sehr gering ist, findet man, daß die Tobelform streckenweise fehlt und durch einen einfachen V-förmigen Querschnitt des ganzen Tales mit sanften Abhängen abgelöst wird. Dies bestätigt zunächst frühere Ergebnisse. Die ruckweise Neubildung der Tobel erfolgt ja nicht in einem Zuge in der Längsrichtung des Tales (vgl. S. 49 und Bild 3), weshalb in Wirklichkeit die Tobelränder gar nicht so einfach, stetig und gleichmäßig verlaufen. Da im Unterlauf die Schluchtbildung oft schon sehr erlahmt ist, so entstehen neue Tobel so selten, daß inzwischen vollendete Ausgleichsgehänge auftreten, und da die Tobel auf verschiedenen Strecken nicht gleichzeitig angelegt werden, findet man die Ausgleichsgehänge ebenfalls streckenweise vor, wo die längste Zeit seit dem letzten Tobel verstrichen ist. Daran erkennt man wieder, daß nicht die Tobelränder in so ungleicher Weise herabgedrückt wurden, denn das widerspräche der Art der Ausgleichung ebenso sehr wie den Gesetzen, nach denen sich die Tobel erneuern.

Auch im Oberlauf vieler Tobeltälchen herrschen ähnliche Verhältnisse. Spätestens im Ursprungstrichter der reinen Schuttgerinne, wenn nicht schon unterhalb, ist ein einfacher V-förmiger Querschnitt mit flachen Talflanken die Regel. Dabei kann das Gefälle erheblich sein, aber es mangelt an Wasser. Jedes Schuttgerinne hört oben zuerst auf zu fließen, weil nach Regen der Wasseraustritt talabwärts rückt. Aber auch solange es vom Talursprung an fließt, ist es oben am schwächsten, weil es unterhalb ständig von dem Schutt- und Bodenwasser verstärkt wird, das von

den Gehängen herabsickert. Schuttgerinne, an denen immerhin erkennbare Tobelformen so nahe an den Ursprung hinanreichen, wie Bild 1 eines zeigt, sind eine Seltenheit. Die Aufnahme eines solchen, abgesehen von ihrer sonstigen Verwendbarkeit, erfolgte, weil auf Lichtbildern noch zartere Formen nicht herauszubringen sind. Schöne längere Tobelstrecken findet man meist nur um den Mittellauf, wo Gefälle und Wassermenge am günstigsten für die kräftige Arbeit der Gerinne zusammenwirken. Am Ursprung zeigt sich manchmal sogar, daß selbst die Schluchtbildung unterdrückt ist, indem bereits ganz seichte Betten an vielen Stellen vom Gehängeschutt überwältigt werden und ihre undeutlichen, niedrigen Wändchen von seichten Rutschen eingedrückt sind. Auch im Unterlauf mancher Tälichen von Schuttgerinnen kommt das vor; dann sind es schon recht gealterte Talformen, die überhaupt nur noch einen einfachen, ganz offenen V-Schnitt aufweisen, wenn sie nicht schon zu bloßen Mulden geworden sind.

Unter diesen Umständen führt die Frage nach der Herkunft der sanften Gehänge zunächst zu der anderen Frage, ob denn jedes Schuttgerinne einmal Tobelformen erzeugen muß. Wenn diese nicht bestimmt zu bejahen ist, folgt daraus, daß die Bedingungen, unter denen die erste Tobelform möglich wurde, gleichfalls erst gefunden werden müssen. Tatsächlich kann nicht jedes Schuttgerinne unter allen Umständen Tobelformen hervorrufen, manche wahrscheinlich überhaupt nie. Die äußerste Unfähigkeit besteht darin, daß auch bei gar nicht geringem Gefälle nicht einmal Schluchten eingeschnitten werden. Sie ist mir bei Waldwuchs allerdings nicht bekannt geworden. Hingegen kann sie auf Wiesengrund an einem Beispiel nachgewiesen und erörtert werden. Das Bild 3 zeigt hinter dem steilen Ende der kleinen Schlucht eine Wiese. In ihr liegt ein besenartiges Gebüsch und darin die Quellmulde des Gerinnes. Von dort zieht bis zum Schluchtbeginn am Waldrand ein etwa drei Sprünge breiter Streifen, in dem der Fuß einsinkt und die Stapfen, auch wenn es durch Wochen nicht geregnet hat, gleich voll Wasser laufen. Obwohl hier kein Wassermangel ist und bei Regen ein Bächlein fließt, so entstand bisher keine Schlucht, nicht einmal in der Form eines Bettes, sondern nur eine, erst bei schärfstem Hinsehen schwach erkennbare Mulde. Der durchfeuchtete, sehr bewegliche Wiesenboden vernichtet jeden Ansatz zu einer Schlucht im Keime, indem er gleich in das kaum entstandene Bett hineinsackt und -rutscht. Von einer Tobelbildung kann da nicht die Rede sein. Selbst die allgemeine weite Muldenform der Wiese war allem Anschein nach schon früher da als die Wirkungen des freilich gefällschwachen Gerinnes auf seine Umgebung. Der Waldwuchs hält hingegen den Schutt fester und läßt ihn nur selten so feucht werden. Auch das Bild zeigt die Folgen dieses Unterschiedes an der verhältnismäßig großen Haltbarkeit der Schluchtwändchen.

Wenn aber ein Schuttgerinne immer nur ganz wenig Wasser führt — viel weniger als das besprochene —, so kann im Walde auch die Tobelform ausbleiben. Dies muß geschehen, wo stets die Verhältnisse herrschen, unter denen sie kaum in Spuren zu finden ist, oder unter denen sie verschwindet, falls sie früher vorhanden war. Mangel an Wasser und Gefälle lernten wir als die Gründe davon kennen. Wo sie zutreffen, durchsinkt

dann die Schuttschlucht selbst die lockersten oberen Teile der Verwitterungsdecke äußerst langsam. Wohl wittert auch diese Bettfurche in die Tiefe (vgl. S. 52) und wird bei jeder Erneuerung durch das Wasser in tieferer Lage wieder hergestellt. Aber das geht so langsam, daß auch das Anstehende nebenan ganz zerfällt und mit dem übrigen Schutt in die Furche wandert, der dann vom Wasser mühsam weggebracht wird. Auch die Verwitterung am Grunde wird dadurch verlangsamte. In solchen Fällen findet man kein Anstehendes als Rückhalt der niedrigen, wenig steilen Schluchtwändchen. Die langsame Schuttbewegung und ganz kleine Rutsche kommen hierbei dem „Einschneiden“ des Gerinnes immer nach. Und so entstehen als dessen Folge sogleich Tälchen mit sanften Gehängen ohne Zwischenschaltung von Tobeln. Das Tälchen wird „reif geboren“, um mit *Davis* zu sprechen, und hat von Anfang an eine offene einfache V-Form des Querschnitts mit Böschungen unter 30° . Im Oberlauf sehr spärlicher Schuttgerinne ist das nicht selten zu sehen.

Ganz allgemein betrachtet, liegt nur ein Sonderfall des in Fig. 3 b dargestellten Verhältnisses vor. Dort ist die Tieferlegung der Schluchten nicht wirksamer als die der sanften Gehänge, wenn wir das S. 52 und 54 über die Wasserscheiden Gesagte mit berücksichtigen. Daraus ergab sich, daß die einmal vorhandene Tobelform ungefähr in der Größe erhalten bleibt, die sie bis dahin erlangt hat. Auf diese Weise wird, wenn sich sonst nichts ändert, der ganze Talquerschnitt, einschließlich der Wasserscheiden, mit geringen Schwankungen der Form, parallel zu sich selbst, tiefer gelegt. Für diese Art des Gleichgewichts aller beteiligten Kraftwirkungen ist aber das Vorhandensein der Tobelform belanglos. Fehlte sie schon vorher, so kann sie gar nicht entstehen, und anstatt dessen wird eben die einfache offene V-Form des Talquerschnittes parallel zu sich selbst tiefer gelegt.

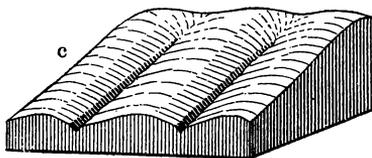
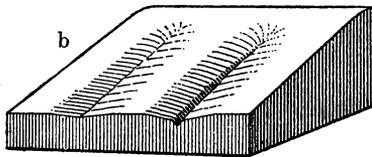
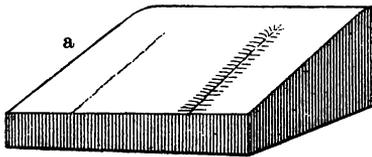
Wir wenden uns nun unmittelbar der Herkunft der sanften Gehänge über Tobelrändern zu. Würde das besprochene Gleichgewicht geändert und zeitweise die Vertiefung der Schlucht überwiegen, so müßte auch bei den schwächeren Schuttgerinnen eine Tobelform entstehen, so wie bei den stärkeren die vorhandene auf Kosten des sanften Gehänges breiter und tiefer wird (Fig. 3a). Die tiefen Tobelstrecken um den Mittellauf sind ein Zeichen, daß mindestens noch vor kurzem die Tobelformen sich in der besagten Weise vergrößerten. Es kann auch in der Gegenwart der Fall sein. Das dazu nötige Übergewicht der Schluchtbildung kann im Rahmen des früher gefundenen nur so erklärt werden: Eine kräftige Wasserführung beseitigte häufig gänzlich den im Bett hinzugewitterten Schutt und beschleunigte so das Tiefergreifen der Zersetzung des Anstehenden unter dem von oben herabgebrachten und beim zeitweiligen Versiegen liegengelassenen Schutt. Nicht ausgeschlossen ist auch ein geringes Einschneiden des Schuttgerinnes ins Anstehende, aber es ist dazu ebenso unnötig wie selten. Hingegen entblößt die Ausgleichsbewegung des Schuttes an den Gehängen den Fels nicht. Daher kann auch seine Verwitterung so rasch nicht erfolgen. Es gilt nach Fig. 3: $AC > BD$ mit allen Folgen. Wo dies heute noch oder vor kurzem stattfand, kann das Spiel der Kräfte die sanften Gehänge nur von unten her aufzehren, nicht aber anlegen. Wir sind also gezwungen, für ihre Anlage jene Verhältnisse heranzuziehen,

bei denen sich völlige Ausgleichsgehänge einstellen, oder von Haus aus keine anderen als so sanfte Gehänge erzeugt werden. Auf Grund der Beobachtungen im Oberlauf und Unterlauf und der daran geknüpften Überlegungen ergibt sich, daß früher einmal auch im Mittellauf und überall, wo sanfte Gehänge über Tobelrändern vorkommen, die Wassermenge oder das Gefälle geringer war, vielleicht auch beides. Erst später wurde den dadurch bedingten, ursprünglich allein herrschenden sanften Gehängen die Tobelform hinzugefügt, weil jene hinderlichen Schwächen der Gerinne beseitigt wurden.

IV.

Wenn ein Schuttgerinne ursprünglich an einem weiter nicht gegliederten, bewachsenen Abhang herabzieht (Fig. 4 a, links), so ist seine Wasserführung am schwächsten und nimmt erst in dem Maße zu, als die

Fig. 4.



Die Talbildung durch Schuttgerinne im Mittel- und Oberlauf.

Talbildung fortschreitet. Denn dann gelangt in das Bett des Gerinnes immer mehr von jenem Schuttwasser, das zuerst parallel zur ursprünglichen Furche in der Verwitterungsdecke auf dem Abhang herabsickerte⁹⁾. Auch das Gefälle ist ursprünglich, mindestens im Oberlauf und Mittellauf, kleiner als später. Denn mit dem Einschneiden vergrößert sich der Höhenunterschied der Bettfurche und der rückwärtigen Wasserscheide, solange diese nicht selbst erniedrigt wird. Nur am unteren Ende des Gerinnes ist das anfängliche Gefälle am größten, weil beim Einschneiden sofort der Unterschied zwischen dem Bett und dem Fuß des Abhangs abnimmt. Indem sich langsam eine mehr ausgeglichene Gefällsline entwickelt, macht auch im Mittellauf die Gefällssteigerung wieder einer talaufwärts greifenden Verminderung Platz. Im Oberlauf geschieht dies erst mit der Erniedrigung der rückwärtigen Wasserscheide endgültig. Im einzelnen

haben gerade die Schuttgerinne eine unregelmäßige, ruckweise Gefällsentwicklung.

Das ursprüngliche Gefälle der Schuttgerinne war übrigens in mehreren Fällen auf allen Strecken ihres Laufes geringer als später. Dies gilt, wenn sich eine Anzahl von ihnen zu einem ständig fließenden Bach vereinigte, der noch längere Zeit langsam einschneidet, ferner, wenn sie nebeneinander in einen solchen Bach münden. Beides ist in der Natur besonders häufig. Endlich muß das Gefälle auf der ganzen Laufstrecke zunehmen, wenn der Abhang durch eine Krustenbewegung langsam steiler wird. Dadurch wirft die Talbildung der Schuttgerinne ein bezeichnendes Licht auf die Entstehung so mancher durch sie gegliederten Gebirge. Denn lang-

same Krustenbewegungen sind es auch, die von Anfang an ein allmähliches Einschneiden der ständigen Gewässer hervorrufen, ohne daß die vorhandenen Abhänge und Abdachungen je ihren Schuttmantel ganz oder größtenteils verlieren. Dies sei nur nebenbei bemerkt.

Es hat sich ergeben, daß unter allen Umständen, die in der Natur eine beobachtbare Grundlage haben, die Schuttgerinne ursprünglich weniger Wasser führten als später und auch, mindestens in Ober- und Mittellauf erst später ihr größtes Gefälle erlangen. Fig. 4 stellt nun die Zertalung eines Abhanges unter beiden Voraussetzungen dar. Der unterste Lauf ist weggelassen. Denn man müßte sonst für die verschiedenen Fälle mehr Zeichnungen machen oder eine einseitige Auswahl treffen, je nachdem am Fuß des Abhanges selbst ein Schuttgerinne oder ein Bach fließt und je nach der Art seiner Tätigkeit. Auch für die ohnehin leicht vorstellbaren vereinfachten Altersformen der Tobeltälchen wurde kein eigener Block gezeichnet. Der Abhang ist in seiner Neigung als ungestört angenommen. Die Tobel sind im Vergleich zu ihrem Abstand möglichst groß gezeichnet, soweit als es überhaupt noch einige Beobachtungen zulassen⁹⁾. In der Natur sind die Gerinne weder so gerade, noch so einheitlich in der Längsrichtung des Tales. Darauf konnte ich aber wegen der Einfachheit der Zeichnung nicht Rücksicht nehmen. Die Schuttschluchten fallen, weil zu klein, unter das Maß der Darstellung. Eine Verzweigung der Schuttgerinne und später der Tobeltälchen nach oben ist zwar die Regel, muß aber nicht stattfinden. Abbildung 4 hält sich an diesen minder verwickelten Fall.

Die Talbildung ist nun in der natürlichen Reihenfolge der einzeln schon behandelten Vorgänge leicht abzuleiten. Die Schuttgerinne schaffen zuerst kleine Bettfurchen, welche die nächsten Teile der Verwitterungsdecke des Abhanges an sich ziehen. Dadurch entstehen unmittelbar kleine, ganz auf den Schutt beschränkte Mulden oder Tälchen, indem dieser gegen das Bett zu dünner wird. Das veranlaßt in der Nachbarschaft der Furche eine beschleunigte Verwitterung des Anstehenden, die auch von der Schlucht aus gefördert wird. So bilden sich nach S. 56 ff. allmählich offene, einfach V-förmige Tälchen, an deren Gehängen der Schutt auf einer schwach zum Gerinne geneigten Unterlage herabwandert (Fig. 4 a rechts und 4 b links). Zwischen diesen Tälchen bestehen noch eine Zeit lang Streifen des ursprünglichen Abhanges als „Riedel“ fort.

Am unteren, nicht mehr gezeichneten Ende, wo das Schuttgerinne am wasserreichsten fließt, kann vielleicht schon jetzt ein Tobel entstehen, ja unter Umständen die allerersten, noch ganz schmalen sanften Gehänge aufzehren. Wenn dann die Auffrischung dieser Tobelbildung erlahmt, wird sich der Tobel nur noch verbreitern. Das geschieht auf Kosten des Riedels, aber auch der Steilheit seiner Gehänge. Diese werden allmählich so flach, wie sonst die sanften sind, und erlauben schließlich nur eine langsame Schuttbewegung. Das Erlahmen der Vertiefung tritt wegen der frühen Gefällsverminderung im untersten Lauf sehr rasch ein, wenn nicht die Schuttgerinne in einen ständigen, selbst noch einschneidenden Bach münden. Für die später noch möglichen, immer selteneren neuen Tobelformen kann das ältere, ganz verflachte Tobelgehänge dieselbe Rolle spielen, wie weiter oberhalb das sanfte Ge-

hänge, dessen Anlage mit Hilfe der Fig. 4 erläutert wurde. Je früher im untersten Lauf das Einschneiden aufhört, desto leichter kann es vorkommen, daß bereits endgültig ein einfach V-förmiger Querschnitt mit sanften Gehängen entstanden ist, bevor noch der Riedelstreifen in einen Rücken verwandelt ist.

Kehren wir zurück zu Fig. 4. Auf dem zweiten Block links hat das Tälchen schon eine gewisse Breite erlangt, was bei Regen und Schneeschmelze sein Einzugsgebiet des Schuttwassers und damit die Stärke des Gerinnes vergrößern muß. Außerdem nimmt das Gefälle infolge des Einschneidens gegenüber dem noch unversehrten Hintergehänge und der sehr langsam arbeitenden Quelle zu. Auf diese Weise kann die erste Tobelbildung meist nicht ausbleiben. Sie findet schon ein älteres, sanftes Gehänge vor. Dieses bildet sich ständig auf Kosten des Riedels weiter, während gleichzeitig die Tobelformen in der bekannten Weise erneuert und vergrößert werden. Die Riedel werden allmählich zu wasserscheidenden Rücken (Fig. 4 c). Je nach den Verhältnissen des Niederschlags, der Taldichte und der ursprünglichen Neigung des Abhangs ist es auch nicht ausgeschlossen, daß diese Rücken schon vor der ersten Tobelbildung vollendet sind. Hingegen können sich zwischen den Tälchen der Schuttgerinne keine scharfen Kammschneiden bilden. Denn da die Beseitigung des letzten Riedelrestes durch Ausdehnung der sanften Gehänge geschieht, erfolgt sie immer unter einem Mantel langsam wandernden Schuttetes. Auch werden die Wasserscheiden nicht wesentlich langsamer erniedrigt als der Grund der Schuttenschluchten. Nur rasche und erhebliche Krustenbewegungen könnten Kammschneiden zur äußersten Folge haben. Aber das hätte die Beseitigung des bewachsenen Wander-schuttetes zur Voraussetzung. Langsame Hebungen bewirken nur, daß die Tobelformen der Schuttgerinne etwas ansehnlicher ausfallen und umso später wieder aus dem Bilde der Tälchen verschwinden. Hierin liegt ein Beitrag zur Entstehung der Bergrücken, über die ich mir eine ausführlichere Darlegung vorbehalten.

Es kann bei dieser Gelegenheit bemerkt werden, daß in unseren Waldgebirgen nicht nur Schuttgerinne die behandelten Talformen aufweisen, bei ihnen sind sie jedoch das Gewöhnliche und für die Art ihres Einschneidens kennzeichnend. Aber auch die Abflüsse von schwächeren und aussetzenden Gesteinsquellen bewirken denselben Formenschatz. Hierbei ist folgendes zu beachten: Man findet oft, daß im Laufe von Schuttgerinnen nachträglich Gesteinsquellen angeschnitten wurden, die stärkere, manchmal sogar ständige Bäche ernähren. Bis dahin war aber das Gefälle meist schon so gering geworden, daß diese Bäche nichts Wesentliches an den Formen der Tobeltälchen zu ändern vermochten. Reicht in einem solchen Falle das Gefälle noch aus, so können allerdings tiefere Tobelformen als je zuvor noch ziemlich weit ins Anstehende eingeschnitten werden. Schließlich ist in stark abgetragenen Gebirgen auch die Erwägung angebracht, daß früher ständige Bäche Täler erzeugten, die ihre Gesteinsquellen infolge der Erniedrigung des Ursprungsgebietes einbüßten, wodurch nur noch Schuttgerinne zum Abfluß kommen. Diese Fälle zu untersuchen, ist aber eine Aufgabe bei der Erforschung der einzelnen Rückengebirge. Mit der talbildenden Arbeit, wie sie

die zeitweiligen Gerinne allgemein kennzeichnet, hat dies nichts mehr zu tun.

Werfen wir einen Blick zurück auf den Zyklus der betrachteten Täler. Ihre Jugendformen sind denen des Alters sehr ähnlich, nur kleiner. Dazwischen liegt die Zeit der Tobel. Die Entwicklung der Formen, als Funktion der Zeit betrachtet, hat eine Eigentümlichkeit. Sie strebt, durch eine Kurve veranschaulicht, nicht einfach zu einem Höhepunkt empor, um ebenso stetig wieder abzusinken, sondern sie ist dabei wellig geformt, indem ihr Verlauf um eine mittlere Lage oft beträchtlich auf und ab schwankt.

V.

Wo die seitlichen Gehänge mit einiger Höhererstreckung den Ursprung des Gerinnes erreichen und daselbst durch ein Hintergehänge miteinander verknüpft sind, kann man von Ursprungstrichtern reden und ihnen alle besonderen Gestalten, die sie im einzelnen aufweisen, unterordnen.

Nicht alle Schuttgerinne, ja nicht einmal alle Bäche haben am Ursprung Trichterform. Zum Beispiel verweise ich auf die sächsische Abdachung des Erzgebirges. Dort liegen Rückenflächen von einigen hundert Schritten Breite als Reste einer älteren Landschaft unter einer meterdicken, manchmal vermoorten Verwitterungsdecke. Auf ihnen beginnen viele Gerinne mit seichten, oft unterbrochenen Bettfurchen, aus denen nur ganz allmählich tiefere Schuttschluchten und Tobelstrecken sich entwickeln. Die letzten nehmen oft erst auf den Abhängen der Täler einen zusammenhängenden Verlauf. Diese Fälle sind nicht weiter Gegenstand der Untersuchung.

Bei vielen Schuttgerinnen haben die Tälchen aus schon erörterten Gründen im obersten Teil einen *einfach V-förmigen* Querschnitt. Dem entspricht ein ebenso gestalteter Trichter, der mit sanften Gehängen um die Schuttquelle zieht. Aber auch wo Tobelformen bis an den Eingang des Trichters reichen, hat er oft jenen Querschnitt. Seine Gehänge setzen im ersten Fall die bis zum Gerinne herabziehenden seitlichen Gehänge fort, im zweiten Fall die sanften Gehänge über den Tobelrändern, wobei aber einige im ganzen geringe Unterschiede zu besprechen sein werden.

Die Trichterbreite ist in beiden Fällen gleich der des anschließenden Talstückes, weshalb man von *Taltrichtern* reden kann¹⁰⁾. In ihrer einfachsten Form haben sie keine Beziehung zu den Tobeln, die vielmehr erst erheblich unterhalb auftreten können, indem ihr Rand sich von den Schuttgraben löst.

In allen Trichterformen unterscheiden sich die Gehänge in einer wichtigen Beziehung von den ihnen sonst ähnlichen und verwandten flachen Seitengehängen. An diesen sickert das Schuttwasser in Bahnen herab, deren durchschnittliche Richtungen zueinander parallel sind. In den Trichtern laufen sie hingegen nach der Mitte zusammen. Dadurch nähert sich der Spiegel des Schuttwassers nach unten zu immer mehr der Oberfläche und durchfeuchtet die Verwitterungsdecke in wachsendem Maße. Sie wird deshalb leicht beweglich und selbst zu Rutschungen besonders

geeignet¹¹⁾. So sieht man auf dem Bilde 2 die Bäume mit entblößten Wurzeln, nicht nur auf den sanften Gehängen über den seitlichen Tobelrändern, sondern auch am Trichtergehänge auftreten. In der Nähe findet man, auf den Bildern nicht erkennbar, sogar zahlreiche Spuren ganz kleiner vernarbter Rutschungen, viel mehr als anderwärts. Ein Zusammenrutschen größerer Schuttmengen im unteren Teile des Taltrichters kommt dabei öfter vor. Das Abgerutschte verleiht dem Trichter eine höckerige Sohle, aus der bei Regen manchmal mehr als ein Gerinne austritt. Die steile Abrißnische dieser Rutschung bildet eine Hohlform, den Quelltrichter. Er hat einen anfänglich scharfen, aber vergänglichen Rand, nach dessen Abrundung der Ausdruck Quellmulde angebracht ist. Dieser Rand entspricht also nicht dem Tobelrand, denn die Quelltrichter haben keine verstützte, oben steilwandig abgeschlossene Schuttschlucht im Taltrichter zur Voraussetzung.

Wo ein solches Schluchtende, wie es Bild 3 zeigt, in einem Taltrichter läge, könnten allerdings durch Einsturz und Verrutschen dieser Form Quelltrichter entstehen, die ihrer Entstehung nach als Tobeltrichter anzusprechen wären. Tobeltrichter dürften bei reinen Schuttgerinnen wohl nur sehr vereinzelt vorkommen. Obwohl man noch nicht genug von den ersten Anfängen der Erosion eines Quellaustrittes weiß¹²⁾, ist ihr wohl kaum ein so plötzliches Einsetzen zuzutrauen. Durch Rückwärtseinschneiden einer Schlucht, wenn sie knapp unterhalb des Taltrichters eine Stufe enthält, wäre es gleichwohl möglich, daß auch am Ursprung eines Schuttgerinnes gelegentlich steilwandig abgeschlossene Schluchten auftreten, aus denen Tobeltrichter hervorgehen. Sonst aber sind sie begünstigt, wo zeitweilige Gesteinsquellen oder gemischte Quellen aus Schutt- und Schichtwasser auftreten, die uns Göttinger im Wiener Wald kennen lehrte. Die Unterscheidung der Quellarten ist aber äußerlich ohne Temperaturmessungen nicht immer möglich, zumal auch ihre Abflüsse die Formen der hier behandelten Tobeltälchen erzeugen.

Betrachten wir einmal das Verhältnis der einfachen Quelltrichter wie der Tobeltrichter zu den seitlichen Tobelrändern, obgleich zuzugeben ist, daß bei reinen Schuttgerinnen die Tobelform gar nicht bis zum Eingang des Taltrichters reichen muß, sondern oft unterhalb mit der Schuttschlucht zusammenläuft. Das Folgende hat daher nur für die kräftigsten unter den Schuttquellen Bedeutung, und im übrigen behandelt es die Leistungen etwas anderer Quellarten.

Es leuchtet sofort ein, daß der Rand einfacher Quelltrichter nicht die Fortsetzung der seitlichen Tobelränder ist, denn er ist auf andere Weise entstanden. Wo aber die seitlichen Tobelränder den Eingang des Taltrichters in einiger Höhe über dem Schuttgerinne erreichen, erscheint dem Auge der Rand des Quelltrichters leicht als ihre ungefähre Fortsetzung, die um die Quelle zieht. Bedingung für diese Lage der Tobelränder ist ein kräftiges Schuttgerinne, das knapp unterhalb des Trichters sein Bett mit einer Stufe ruckweise zur Schlucht vertieft, besonders wenn diese Stufe auch als zeitweiliger Austritt des oberhalb schon versiegten Schuttwassers dient. Diesen Fall zeigt Bild 1. Der abgebildete Quelltrichter ist aber durch Abrundung seines Randes schon zur Quellmulde geworden

und auch die Tobelränder sind am Trichter gerade stark verwischt. Das erleichtert aber den Eindruck der Zusammengehörigkeit, solange die Tobelform keine Auffrischung erfährt. Zugleich erkennt man, warum so oft die Quelltrichter dieser Art breiter sind als die anschließende Tobelstrecke. Der Rand der Quelltrichter entstand ja durch den Abriß einer Rutschung am sanften Gehänge des Taltrichters, während die Tobelränder sehr oft erst zu dieser Höhe emporrücken müssen, weil die Tobelform aus engen Anfängen in die Breite wächst. Man kann nicht erwarten, immer die Tobelränder in ihrer höchsten Lage anzutreffen und ebenso wenig, daß diese Lage immer gleich hoch oder höher ist als jene des Randes, der den Schuttquelltrichter begrenzt.

Nun fand ich aber auch noch nirgends, daß Trichter, die als Tobeltrichter anzusprechen sind, einfach das obere, steil abgeschlossene Ende des Taltobels sind, obwohl ich Hunderte von Talursprüngen aufsuchte. Daher muß es ein selten anzutreffender Fall sein, daß die seitlichen Tobelränder stetig mit dem Rande des Tobeltrichters zusammenhängen, und daß die Erweiterung der Tobelform am Ursprung fehlt, die erst den Eindruck des Tobeltrichters hervorruft. Hierfür bieten sich je nach der Voraussetzung etwas abweichende Erklärungen. Nehmen wir zuerst an, daß die Tobelform im Taltrichter, also der Tobeltrichter gleichzeitig mit der anschließenden Tobelstrecke entstand bzw. aufgefrischt wurde. Dann muß zunächst ein stetiger Zusammenhang der Ränder bestehen und die Tobelform braucht an ihrem oberen Ende gar nicht breiter zu sein als ihre Fortsetzung talabwärts, d. h. als der Taltobel. Da aber die Erweiterung des Tobeltrichters infolge der im Taltrichter so begünstigten Rutschungen meist rascher erfolgen muß, gelangt der Rand des Tobeltrichters auch rascher in höhere Lagen als die seitlichen Tobelränder und ist zugleich der Zurundung näher. Dadurch erklärt sich jener Unterschied in der Breite beider Formen und die Unstetigkeit in der Verbindung ihrer Ränder. In noch höherem Maße ist dies aber unter der Annahme zu erwarten, daß der Tobeltrichter älter ist als der Taltobel (vgl. S. 54). An sich besteht ja, wie schon wiederholt betont wurde, auch dieser aus ruckweise aneinandergereihten, nicht gleich alten und ungleich frischen Strecken. Ein besonderer Anlaß zu solcher Verschiedenheit besteht nun an der Grenze zwischen dem Taltrichter und dem Tale. Denn in jenem herrschen eigenartige Verhältnisse. Sie werden in ihrer Wirkung besonders unterstützt, wenn gerade unterhalb des Trichters ruckweise eine tiefere Schlucht einsetzt, weil auch der Wasseraustritt sich ruckweise talabwärts verlegt, nach jedem Versiegen der obersten Quelle. All das begünstigt ein ungleiches Alter und daher eine sehr ungleiche Frische der Tobelform im Taltrichter und im anschließenden Talstück. Es hat überdies die Folge, daß die erste, also der Tobeltrichter, mühsamer entsteht und seltener erneuert wird. Es ist demnach viel wahrscheinlicher, daß man den nur mit größeren Pausen erneuerten Tobeltrichter älter und minder frisch findet, im Vergleich zum Taltobel, als umgekehrt. Um so öfter zeigt sich jener als Erweiterung. Die Unstetigkeit der Ränder ist aber nicht nur mit diesem Fall verbunden, sondern auch mit dem entgegengesetzten, wenn nämlich der Tobeltrichter jünger und frischer ist als der Taltobel. Man findet dies zwar selten, dann aber erscheint der noch enge Tobel-

trichter dem Auge überhaupt nicht als Abschluß des Taltobels, sondern als erweiterter Schluchtkopf.

Indem wir die im II. Abschnitt gefundenen Gesetze über das Breiten- und Tiefenwachstum der Tobelformen auch an den dazugehörigen Tobeltrichtern prüften, fanden wir, daß man damit erklären kann, warum diese Trichterformen sozusagen überall breiter sind als die anschließenden Tobelstrecken, und warum man in der Natur bei den erwähnten Quellarten immer außerstande ist, die seitlichen Tobelränder ungestört mit dem Trichterrande zu verknüpfen.

Das Auftreten der gewöhnlichen Quelltrichter und der Tobeltrichter ist nicht ohne Einfluß auf die Form der Taltrichter. Die raschere Schuttbewegung in diesen beschleunigt die Herstellung von Ausgleichsgehängen, die dann bis zur nächsten Entstehung eines Quelltrichters allein vorhanden sind. Als solche sind sie nach S. 54 einige Zeit lang steiler als die sanften Seitengehänge. Reicht der Taltobel bis an den Taltrichter heran, dann wird das besonders deutlich, weil des Trichters Ausgleichsgehänge erheblich flacher sind als die Tobelböschungen, aber auch merklich steiler als die Gehänge über den Tobelrändern. In diesem Fall stellt auch ein ganz einfacher Taltrichter nicht einen bloß halbkreisförmigen Abschluß des Tales dar, sondern ein erweitertes oberes Ende. Die Erweiterung ist am stärksten in der Gegend der Tobelränder und wird nach oben und unten geringer. Ungefähr würde dies eine Gerade veranschaulichen, die man in Fig. 1 aus der Gegend von b zu den seitlichen Rücken zieht, auf welche auch die Pfeilspitzen hinweisen, die am oberen Ende des gezeichneten sanften Gehängestücks dessen Fortsetzung andeuten.

Die Formen der Ursprungstrichter im einzelnen sind also recht abwechselnd. Ihre geometrische Gestalt ist dabei meist gar nicht einfach und weicht, genauer besehen, nicht unerheblich ab von einem halben Hohlkegel oder zwei Dritteln eines solchen. Darauf weiter einzugehen, ist aber kein Grund, weil in der Hauptsache die Talbildung bloßer Schuttgerinne erläutert werden sollte,

Anmerkungen.

¹⁾ Jede Wanderung durch das nächste Waldgebirge des ozeanischen und des mittleren Europa liefert Belege für diese Behauptung innerhalb der obersten zwei Kilometer aller Talanfänge und kürzerer Tälchen. Weitere in verschiedenen Gebirgen gesammelte Nachweise habe ich in einem Aufsatz über Fluß- und Bachursprünge in Rückengebirgen veröffentlicht (Mitt. der k. k. Geogr. Ges. Wien 1918).

²⁾ G ö t z i n g e r s einschlägiges Werk: „Beiträge zur Entstehung der Berg Rückenformen“ (Geogr. Abh. hg. von P e n c k, IX. 1, 1907) hat die vorliegende Untersuchung erst möglich gemacht, nicht nur durch den Beweis der Allgemeinheit langsamer Bewegungen im Verwitterungsschutt, sondern auch durch manche Fragestellung. Alle Abweichungen, die der vorliegende Versuch von mir enthält, kommen daher, daß ich die Arbeit der Schuttgerinne und ihre Folgen zum Hauptgegenstand wählte und sie völlig für sich und unvermischt mit den Leistungen ständiger Wasserläufe betrachtete.

³⁾ Die fotografierten Talanfänge liegen am rechten Hange des Weidlingbachtals zwischen dem „Holländerdörf“ und der Kuppe: „Zwei Gehänge“.

⁴⁾ Diese langsame Bewegung, die ich Wandern nenne, wird sonst gewöhnlich als Kriechen bezeichnet.

⁵⁾ Herr Dr. A. G i n z b e r g e r, am Botanischen Institut der Universität Wien, war so freundlich, das hier Gesagte zu überprüfen und die Lücken meines Wissens auf diesem

Gebiet zu beseitigen. Eine Möglichkeit mechanischer Durchbiegung der jungen Stämme unter dem Drucke des Wanderschuttes ließ sich theoretisch nicht finden, da hierzu ein dauerndes Festhalten ihres oberen freien Endes nötig wäre. Vielmehr kommt nur eine Schiefstellung der Bäumchen in ihrer ersten Jugend in Betracht, entweder zur Zeit des jährlichen Längenwachstums (März bis etwa Mai) oder nachher, bei dessen Stillstand. Auf einem schiefgestellten Stamm wächst der Trieb des nächsten Jahres lotrecht empor. Dasselbe geschieht, wenn der nun schon einen Knick aufweisende Stamm noch einmal schiefgestellt wird. Das spätere Dickenwachstum der Bäume umkleidet diesen mit stumpfen Knicken versehenen Wuchs, so daß meist der Eindruck einer Krümmung entsteht. Es entzieht auch, zugleich mit dem Längerwerden der Wurzeln, den Baum weiterhin solchen Einwirkungen langsamer Schuttbewegung. Weniger wahrscheinlich ist, daß sich die Schiefstellung eines jungen Stämmchens während der Zeit des Längenwachstums so deutlich bemerkbar macht. Dieses würde allerdings auch nach jedem Ruck durch den Schutt lotrecht weiterwachsen und es könnte auch auf diese Art zu einer Krümmung mehr stetiger Form kommen. Die dankenswerten Mitteilungen Herrn Dr. Ginzbergers bestätigen somit die Versuche Götzingers mit Stäbchen von 25 cm Länge, die er in den Boden steckte. Dem Werke von M. Willkomm: „Forstliche Flora von Deutschland und Österreich“, Leipzig 1887, entnehme ich, daß das Längenwachstum der jungen Rotbuche, *Fagus sylvatica*, unter dem Schutz der Mutterbäume nach Hartig in den ersten Jahren je 8—11 cm beträgt. Die Pfahlwurzel wächst zugleich, aber nur in den ersten 4—5 Jahren in die Tiefe.

⁶⁾ Götzinger hält in seinem Werke, S. 18, die Bloßlegung von Baumwurzeln — allerdings in einem Quelltrichter — überhaupt für eine Folge von sonst unsichtbaren Rutschungen. Auf dem sanften Gehänge möchte ich die Schuttbewegung doch noch größtenteils als ein, wenn auch besonders rasches Abwandern bezeichnen. Die Bloßlegung der Wurzeln griff auch auf die Trichtergehänge über, wovon später die Rede sein wird (vgl. die Lichtbilder).

⁷⁾ Das lehrt auch das Verhalten der Naßgalle.

⁸⁾ Über den ersten Anlaß zum Austritt einer Schuttquelle vgl. Götzingers Werk, S. 17. Derartige Gerinne bilden sich zuerst wohl meist am unteren Teil des Abhanges und verlängern sich dann nach rückwärts.

⁹⁾ Der weitaus größte mir bekannte Tobel am Fichtelberg im sächsischen Erzgebirge, der vielleicht nicht nur, aber doch vorwiegend, das Werk von Schuttwasser ist, wird 20 m tief.

¹⁰⁾ Götzinger schlägt diesen Namen nur für Sammeltrichter vor, die mehrere Ursprungserinne größerer Täler umfassen.

¹¹⁾ So wird jeder Trichter zur Ursache von Quellen, ganz gleich in welcher Weise er selbst zuerst von einer Quelle angelegt worden ist.

¹²⁾ Einige sehr anregende und wertvolle Mitteilungen enthält das Werk von Götzinger, S. 17. In diesem Rahmen ist eine nähere Erörterung, die übrigens keine aufschlußreichen Beobachtungen zur Verfügung hätte, nicht angebracht. Vor allem ist zu bedenken, daß gerade die Rutschungen im Taltrichter die Austrittstellen des Schuttwassers von ihrem Orte weg verlegen.



Lehmann.

1. Ursprung eines Schuttgerinnes im Wienerwald. Blick auf die Schuttschlucht, den Tobel mit verwischten Rändern und die Quellmulde.



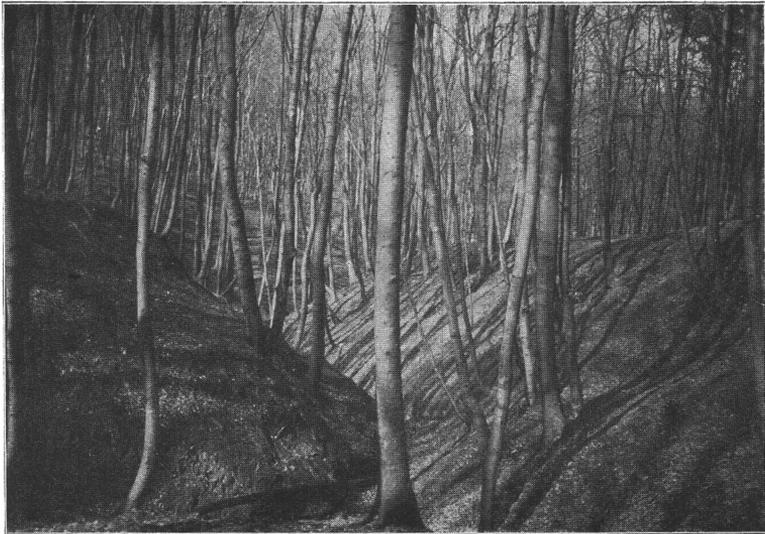
Lehmann.

2. Oberes Ende der Talbildung desselben Schuttgerinnes (vgl. Bild 1). Blick auf die sanften höheren Gehänge.



Lehmann.

3. Ursprung eines Schuttgerinnes im Wienerwald (in der Wiese). Einsetzen der Schuttschlucht am Waldrand.



Lehmann.

4. Scharfrandige Tobelstrecke eines Schuttgerinnes, talabwärts gesehen. Den Ursprung zeigt Bild 3.