

Untersuchungen über die Form des Felsuntergrundes des Dreisamtales zwischen Freiburg i. Br. und Kirchzarten auf Grund von Gravitationsmessungen mit der Drehwage.

Von

H. Holst, Freiburg i. Br.

Mit 4 Abbildungen und 5 Tafeln.

Bei Freiburg im Breisgau öffnet sich das Tal der Dreisam in die oberrheinische Tiefebene. An der Ausmündung zwischen Schloßberg und Bromberg etwa 1000 m, dann zwischen Hirzberg und Waldsee nur noch etwa 700 m breit, erweitert es sich zunächst zwischen Freiburg und den Dörfern Ebnet und Littenweiler auf etwa 1500 m. Bei Ebnet-Littenweiler selbst engt sich das Tal wieder auf 1000 m ein, um sich dann bei Zarten zu einer Maximalbreite von etwas mehr als 3 km zu öffnen. Von hier aus verringert sich die Breite langsam auf etwa 2 km (östlich von Kirchzarten), um diese Größe bis zum Schluß des Tals bei Himmelreich-Wiesneck beizubehalten.

Die Seitenhänge des Tales werden von Gneis mit gelegentlich eingelagertem Ganggestein gebildet. Ihr Böschungswinkel gegen den fast ebenen Talboden beträgt, wie dies für Täler im Gneis die Regel ist, fast stets rund 30° . In diese Hänge schneiden die Zuflüsse der Dreisam tiefe Erosionstäler ein. So bei Burg die drei Quellbäche des Flusses, Falkensteigbach, Ibenbach und Wagensteigbach; weiter unterhalb einander gegenüber südlich das durchschnittlich 500 m Sohlenbreite aufweisende Oberrieder und im Norden das schmalere Eschbachtal; schließlich das Kappeler und ebenfalls genau gegenüber das Attental.

Der Talboden wird von Flußgeröllen gebildet, die mäßig gerundet sind und Kopfgröße erreichen können. Größere Blöcke

finden sich weder oberflächlich, noch sind solche in den vorhandenen Aufschlüssen zu sehen. Die Gerölle sind ihrer Abstammung nach Schwarzwälder kristalline Gesteine; in der weitaus überwiegenden Zahl Gneise. Gelegentlich werden auch Gerölle von Gesteinen gefunden, die außerhalb des heutigen Flußgebietes anstehen.

Die eigenartige Form des Tales hat schon seit einiger Zeit das Interesse der Geologen erweckt. STEINMANN und GRAEFF stellten in dem Geologischen Führer 1898 einige mögliche Hypothesen über die Bildung dieses Tals zusammen, die jedoch, wie auch erwähnt wird, in der Hauptsache deshalb unsicher sind, weil nirgends die Mächtigkeit der Schotterbedeckung im Tale bekannt ist. Diese Mächtigkeit und die Form der unterlagernden Felsschale zu bestimmen, ist die Hauptaufgabe vorliegender Arbeit.

Die Mächtigkeit durch Bohrungen festzustellen, ist natürlich nicht zugänglich, solange nicht irgendein wirtschaftliches mit dem vorliegenden wissenschaftlichen Problem verknüpft ist, besonders, weil einfaches Stoß- und Spülverfahren Gneisschotter und anstehenden Gneis nicht zu sondern gestattet, so daß also Kernbohrung erforderlich wäre. Aber der Unterschied der Dichten zwischen dem anstehenden festen Gestein und dem lockeren Schotter läßt vermuten, daß auf das Schwerekräftfeld der Erde durch die genannten Massen Einflüsse ausgeübt werden, die mittels hinreichend empfindlicher Instrumente wahrgenommen und zu einem eindeutigen Bild des Talgrundes ausgewertet werden können.

Solche Instrumente besitzen wir in Gestalt der von R. EÖRVÖS gegen 1900 konstruierten Drehwage.

Diese entspricht im Prinzip dem von CAVENDISH vor etwa 200 Jahren zum Nachweis der Massenanziehung überhaupt benutzten Instrument, besteht also im wesentlichen aus einem dünnen an einem Draht angebrachten Wagebalken, der beiderseits Gewichte trägt. Bei dem von EÖTVÖS als Gehänge zweiter Art bezeichneten Balken ist das eine von diesen Gewichten an einem Draht aufgehängt, so daß sein Schwerpunkt um 30 bis 50 cm tiefer liegt als der Schwerpunkt des anderen Gewichts. Dieses Gehänge ist zur Vermeidung des störenden Einflusses von Temperatur und Luftströmungen in ein dichtes Gehäuse eingeschlossen, das sämtliche Vorrichtungen zum Horizontieren und Einstellen, sowie zum Vornehmen der Ablesungen trägt.

Die von der Erde auf irgendeinen Körper ausgeübte Anziehungskraft ist nun entsprechend dem NEWTON'schen Gravitationsgesetz, das im Prinzip für alle Kraftfelder gültig ist, direkt propor-

tional den wirksamen Massen selbst und umgekehrt proportional dem Quadrat der wirksamen Entfernung. Das Schwerepotential, also die in Zentimeter-Gramm-Sekunden (CGS)-Einheiten ausgedrückte Fähigkeit einer Einheitsmasse, auf Grund ihrer Lage im Gravitationsfelde der Erde Arbeit zu leisten, ist danach abhängig von der für diese Lage gültigen wirksamen Masse und der wirksamen Entfernung. Nun ist aber infolge der äußeren unregelmäßigen Form der Erde und der inneren Inhomogenität des Erdkörpers sowohl Masse als Entfernung veränderlich, damit also die Attraktionskraft von Ort zu Ort verschieden. Diese Verschiedenheit bewirkt eine Größenänderung der vertikal abwärts gerichteten Komponente der Attraktionskraft, sowie das Auftreten von horizontalen Komponenten.

Diese Horizontalkomponenten bewirken ein Drehmoment an dem oben beschriebenen Drehwangegehänge. Beziehen wir uns auf ein rechtwinkliges Koordinatensystem, dessen x-Achse nach Norden, dessen y-Achse nach Osten und dessen z-Achse vertikal abwärts zeigt, so erhalten wir unter Berücksichtigung der für ein bestimmtes Azimut des Gehänges wirksamen Kraftkomponenten für das am Gehänge auftretende Drehmoment den Ausdruck

$$\frac{K}{2} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \sin 2\alpha + K \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \cos 2\alpha - m h l \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \sin \alpha + m h l \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} \cos \alpha$$

wie von R. EÖTVÖS abgeleitet wurde.¹⁾

Darin bedeutet:

U die Potentialfunktion der Attraktionskraft

K das Trägheitsmoment des Gehänges,

α das Azimut des Balkenendes mit dem hängenden Gewicht gerechnet von Norden über Osten nach Süden,

m die Masse des hängenden Gewichtes

h den vertikalen Abstand zwischen Schwerpunkt des hängenden Gewichtes und Balkenmitte

l die Länge des Drehungsarmes des hängenden Gewichtes.

Diesem Drehmoment wirkt der Torsionswiderstand des aufgehängedrahtes entgegen. Das desarretierte Gehänge wird dabei zunächst Schwingungen ausführen, die infolge Koppelung zwischen

¹⁾ Vgl. R. EÖTVÖS, Über geodätische Arbeiten in Ungarn, besonders über Beobachtungen mit der Drehwage. Bericht an die XVI. allgemeine Konferenz der internationalen Erdmessung in Budapest 1909.

Derselbe, Resultate der wissenschaftlichen Erforschung des Balatonsees Bd. 1, Teil I, Geophysikalischer Anhang, Budapest 1908.

den einzelnen Gehängeteilen und elastischer Stöße beim Anprall an die Schutzwände im Anfang recht kompliziert sind, schließlich aber in eine langsame Torsionsschwingung (t =etwa 15 Min.) übergehen. Diese klingt wegen der sehr starken Luftdämpfung in einer Stunde vollständig ab, so daß eine Ruhelage eintritt, die abgelesen wird. In dieser Gleichgewichtslage ist das Drehmoment gleich dem Produkt von Torsionskonstante und Torsionswinkel. Den Torsionswinkel beobachtet man mittels POGGENDORFF'scher Spiegelablesung als Differenz zweier Skalenstriche. Diese Differenz ist (unter Benutzung der für die Spiegelablesung gültigen Formel):

$$n - n_0 = 2D \left[\frac{K}{2\tau} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \sin 2\alpha + \frac{K}{\tau} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \cos 2\alpha - \frac{mhl}{\tau} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \sin \alpha + \frac{mhl}{\tau} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} \cos \alpha \right]$$

Hierin bedeutet:

- n_0 die Skalenablesung bei unabgelenktem Gehänge
- n die Skalenablesung in der abgelenkten Stellung des Gehänges
- τ die Torsionskonstante des Aufhängedrahtes
- D den Abstand Spiegel-Skala für die Spiegelablesung.

Von den in dieser Formel auftretenden Werten werden D , m , h , l direkt mit Maßstab und Wage bestimmt. Das Trägheitsmoment kann entweder durch Beobachtung der Schwingungsdauer oder durch Ausrechnung (nach der Formel $K = \Sigma ml^2$) ermittelt werden; zur Feststellung der Torsionskonstante dient ein Ablenkungsversuch mit bekannter Masse, wie weiter unten ausführlich beschrieben werden soll. Beobachtet wird n ; unbekannt ist n_0 , sowie die vier Differentialausdrücke. Die ersten beiden von diesen

$$\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \quad \text{und} \quad \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$$

sind Größen, die wir nach EÖTVÖS als Richtkräfte in der horizontalen Ebene bezeichnen wollen. Diese ändern sich nicht charakteristisch genug und sind zudem mit ziemlich großen Ungenauigkeiten behaftet, so daß wir für das uns beschäftigende Problem völlig von ihrer Bestimmung und eingehenden Betrachtung absehen können. Die beiden anderen Ausdrücke dagegen:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \quad \text{und} \quad \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$$

sind die sogenannten Gradienten der Schwerkraft g , also die Änderungen von g beim Fortschreiten in der horizontalen Ebene. Diese Größen ändern sich charakteristisch genug und sind hinreichend

genau bestimmbar, um zur Lösung unserer Aufgabe dienen zu können.

Wir haben nun diese vier Differentialausdrücke und die Ruhelage des unabgelenkten Gehänges, n_0 , als Unbekannte in unserer Gleichung. Diese fünf Unbekannten brauchen zu ihrer Bestimmung fünf voneinander unabhängige Beobachtungen. Zur Abkürzung der hierfür erforderlichen Zeit ist die Wage mit zwei um 180° gegeneinander gedrehten Gehängen ausgerüstet, so daß bei jeder Ablesung zwei Beobachtungen gemacht werden können. Damit erhalten wir zwar eine neue Unbekannte in Gestalt der Ruhelage des unabgelenkten zweiten Gehänges, aber die so sich ergebenden 6 Unbekannten werden in drei Ablesungen hinreichend bestimmt.

Aus den so erhaltenen 6 Werten werden zunächst die Größen n_i für jedes Gehänge in der Weise bestimmt, daß das arithmetische Mittel der Ablesungen des betreffenden Gehänges gebildet wird. Die Differenz jeder Ablesung gegen diesen Mittelwert ist dann die in der Formel auftretende Größe $n - n_0$; die sechs in dieser Weise erhaltenen Größen ermöglichen, 6 Gleichungen aufzustellen, aus denen die vier unbekanntenen Differentialausdrücke (in elementarer Weise nach Multiplikation mit geeigneten Faktoren durch Addition bzw. Subtraktion oder mittels Determinanten) auszurechnen sind. Diese Rechnung wird durch Anwendung eines vorgedruckten Schemas erleichtert.

Die Angaben des Instruments sind nun noch mit gewissen Fehlern behaftet, die möglichst niedrig zu halten oder durch Rechnung zu beseitigen sind. Hauptsächlich ist die Temperatur bzw. die Änderung der Temperatur mit der Zeit von Einfluß auf die Struktur des Drahtes und damit auch auf Torsionskonstante und Ruhelage. Dieser Einfluß wird sich bei den Messungen in der Weise geltend machen, daß während der Beobachtungen die Ruhelage sich langsam ändert. Man kann den Einfluß dieser Änderung nun entweder, wenn man die Änderung proportional der Zeit setzen will, dadurch ausschalten, daß man nach Absolvierung der drei notwendigen Beobachtungen die Ablesung in der ersten Stellung repetiert und den dabei erhaltenen Unterschied gegen die erste Ablesung auf alle drei Beobachtungen gleichmäßig verteilt¹⁾. Oder man setzt die Änderung der Temperatur proportional und bestimmt für eine Temperatur von 0 Grad und etwa eine von 100 Grad die Ruhelage des Drahtes. Der Unterschied beider Ruhelagen, geteilt

¹⁾ Vgl. R. Eötvös, l. c. 1908 u. 1909.

durch 100, gibt den Temperaturgang des Drahtes pro Grad. Weder das eine noch das andere Verfahren ist absolut einwandfrei. Wir benutzen deshalb ausgewählte Drähte, die nahezu temperaturunempfindlich sind, wie später an Beispielen gezeigt werden soll.

Weiter ist noch die Änderung der Horizontierung des Apparates bzw. ihre Störung durch Aufstellung auf unstablen Boden von Einfluß auf die Messung. Hiergegen kann man durch Aufstellung des Instrumentes auf Pfähle, die in den Boden geschlagen werden, Abhilfe schaffen; meist (und während der hier ausgeführten Messungen stets) genügt festes Aufsetzen des Stativs auf den Boden, um die Messungen hinreichend genau zu machen.

Schließlich können instrumentelle Störungen noch durch magnetische Einflüsse, Luftströmungen und Oberflächenwirkungen am Gehänge auftreten. Hiergegen schützt nur sorgfältiger Bau des Instrumentes, speziell der Gehänge aus unmagnetischen Substanzen, Luftdichthalten der Schutzgehäuse und Reinhalten der Gehänge. Störungen dieser Art sind gelegentlich dieser Messungen nicht aufgetreten.

Die Messungsergebnisse selbst werden außer durch die unterirdischen Inhomogenitäten im Erdkörper (subterranean Störungswert bei EÖTVÖS) noch durch die äußere Form der Erde beeinflusst. Und zwar liefert schon die von BESSEL angegebene Form des Erdsphäroids infolge des Längenunterschiedes zwischen Achse und Äquatorialdurchmesser einen Einfluß, der von EÖTVÖS als „normaler Wert“ oder „BESSEL'sche Korrektion“ bezeichnet wird, und aus der von EÖTVÖS gegebenen Tabelle für die Breite von Freiburg (48,0) zu $-8,10$ für den Wert grad g_x gefunden wird. Eine Korrektion für grad g_y tritt naturgemäß nicht auf.

Die Oberfläche der Erde weicht nun aber fast stets von diesem Sphäroid mehr oder weniger ab, was naturgemäß auch einen Einfluß auf unser Instrument ausüben muß. Bei seiner Abschätzung sagt uns zunächst das NEWTON'sche Gesetz, daß die Wirkung von Abweichungen, d. h. Unebenheiten in der Nähe des Instruments erheblich größer sein muß, als ihr Einfluß in größerer Entfernung. Daher wählt man als Stationspunkt auch einen möglichst horizontalen oder künstlich eingeebneten Platz, wenn dies irgend möglich ist. Abweichungen werden durch Messung des Gelände-Neigungswinkels am Aufstellungsplatz selbst und Nivellement auf 8 in um je 45^0 verschiedenen Azimuten liegenden Radien festgestellt und in

der von EÖTVÖS¹⁾ angegebenen Weise als „Terrainkorrektion“ errechnet und am Resultat angebracht. Diese Korrektionsformel ist jedoch von EÖTVÖS für die Verhältnisse der ungarischen Tiefebene aufgestellt worden und liefert für größere Unebenheiten keine brauchbaren Resultate.

Für die Ermittlung des Einflusses solcher Unebenheiten, also für Berge, wie sie unser Gebiet aufweist, hat EÖTVÖS¹⁾ in seiner „kartographischen Korrektion“ eine Formel angegeben, die von ihm selber für die Berechnung seiner Messungen im gebirgigen Arader Gebiet angewendet wurde, und die auch für unseren Zweck geeignet ist. Die Korrektionsformel für die uns allein interessierenden Gradienten g_x und g_y lautet:

$$\text{grad } g_x = - \frac{3}{2} G \sigma \zeta^2 \frac{d\alpha \, d\varrho \cos \alpha}{\varrho^3}$$

$$\text{grad } g_y = - \frac{3}{2} G \sigma \zeta^2 \frac{d\alpha \, d\varrho \sin \alpha}{\varrho^6}$$

für ein Massenelement.

Hierin bedeutet (vgl. Abb. 1):

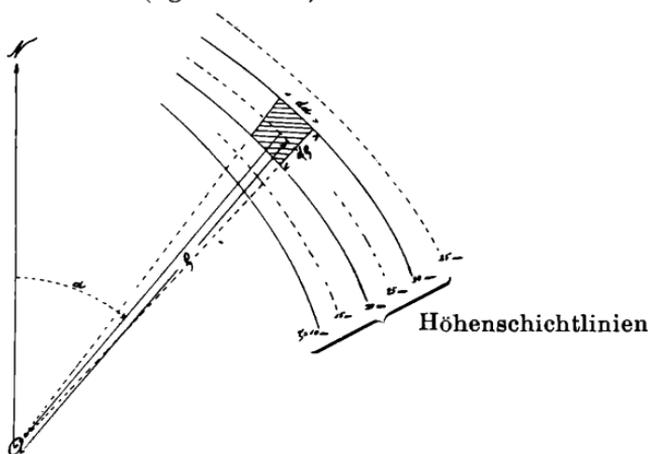


Abb. 1. Ermittlung der kartographischen Korrektion aus einer Höhenschichtlinienkarte.

G die Gravitationskonstante $66,3 \cdot 10^{-9}$,

σ die Dichte der betrachteten Massen,

ζ die Erhebung des betrachteten Massenelementes über den Gehängeschwerpunkt der Drehwaage,

¹⁾ R. Eötvös, Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hilfe der Drehwaage. 1. Band der Abhandlungen der XV. allgemeinen Konferenz der Erdmessung 1906; WIEDEMANN'S Annalen, 59, 354, 1896.

- ρ die Entfernung des Elements vom Drehwagenschwerpunkt,
 $d\rho$ die radiale Ausdehnung des Elements (wobei ζ , ρ und $d\rho$ aus einer topographischen Isohypsenkarte zu entnehmen sind und $d\alpha$ je nach der Geländeform geeignet zu wählen ist),
 $d\alpha$ die azimutale Ausdehnung des Elements im Bogenmaß,
 α das Azimut des betrachteten Massenelementes, gerechnet von Norden über Osten nach Süden.

Die Wirkungen der einzelnen Elemente, in die hiernach an Hand der Karte das Gelände aufgeteilt wird, sind zu summieren; das Ergebnis liefert den Einfluß der Erhebungen, der als Korrektion mit umgekehrtem Vorzeichen am Ergebnis der Messungen anzubringen ist.

Im ganzen sind also drei Korrektionen zu berücksichtigen; es ist Totalstörung minus BESSEL'sche Korrektion minus topographische Korrektion minus kartographische Korrektion = subterranean Störungswert.

Diesen haben wir zu berücksichtigen. Wir tragen demgemäß die nach Anbringung der Korrektionen übrigbleibenden Werte der Gradienten g_x und g_y in die Karte ein, und zwar als totale Gradienten.

$$g_s \mid = \sqrt{(\text{grad } g_x)^2 + (\text{grad } g_y)^2}$$

im Azimut φ , wobei

$$\text{tg } \varphi = \frac{\text{grad } g_y}{\text{grad } g_x}$$

ist. Oder anders ausgedrückt: Wir zeichnen in dem Diagramm der Gradienten g_x und g_y jeder Station die Resultierende g_s . Dann verbinden wir die Punkte gleicher Größe dieser Resultierenden durch Linien miteinander, die auf der Richtung der Resultierenden senkrecht stehen. Auf Grund eines so angefertigten Planes ist dann die Deutung der Ergebnisse vorzunehmen; denn diese Linien geben die Wirkung der unsichtbaren Unregelmäßigkeiten in der Erdrinde wieder.

Bei dieser Deutung ist jedoch vorsichtig zu verfahren, da nicht immer die gefundene Störung allein auf die Wirkung der gesuchten Masse zurückzuführen ist. Eine sorgfältige geologische Untersuchung des in Frage stehenden Gebiets sichert zwar in gewissem Maße gegen das Übersehen von Einflüssen, die aus den obersten Teilen der Erdrinde stammen können. Die etwa durch Pendelbeobachtungen

oder anders erschlossenen Makrostruktur der Erdrinde in der Umgebung des Gebiets kann aber noch Wirkungen auf das Instrument ausüben, die bisher nicht als Korrekturen angebracht sind.

Liegt eine auf Grund von Pendelmessungen hergestellte Iso-gammenkarte vor, so entnimmt man selbstverständlich aus dieser die hierzu notwendigen Werte, falls es für die anzustrebende Genauigkeit des Resultats erforderlich ist.

Die Anwendung des Instruments auf das vorliegende Problem verlangt nun zunächst eine Abschätzung der zu erwartenden Wirkungen. Hierzu stellen wir uns das Tal trogförmig vor, beiderseits von Böschungen, die sich mehr oder weniger den sichtbaren Abhängen anschließen, und am Boden von einer näherungsweise horizontalen und ebenen Fläche begrenzt. Für die Wirkung solcher Profile ist bei EÖTVÖS und HELMERT eine Formel angegeben worden, die aus der Tiefe, dem Böschungswinkel der Abhänge, der Entfernung der betreffenden Station vom Abhang und dem Unterschied der Dichten der an der Trennungsfäche zusammenstoßenden Massen des resultierenden Gradienten in der Richtung des Profils zu berechnen gestattet.

Die erste Aufgabe ist also die Bestimmung des Dichtenunterschiedes zwischen Schotter und Gneis.

Die Dichte der in Frage kommenden Schapbach- und Rench-gneise findet sich bei GRUBENMANN oder ROSENBUSCH angegeben und beträgt

Schapbachgneis	2,63 bis 2,72,
Biotit-Plagioklasgneis	2,85.

Die eingelagerten Ganggesteine sind, soweit die vorhandenen Aufschlüsse das erkennen lassen, nicht mächtig genug, um wesentlich modifizierend zu wirken. Somit können wir für die Dichte des anstehenden festen Gesteins im Mittel etwa 2,75 setzen. Dieser Wert ist um $\pm 0,1$ unsicher und läßt sich auch nicht ohne umfangreiche Aufschlußarbeiten genauer bestimmen.

Etwas schwieriger gestaltet sich die Aufgabe, eine mittlere Dichte für den Schotter bzw. Lehm und Kies zu finden. Wir finden bei JOLY ¹⁾ und STINY ²⁾ zunächst Angaben über die Dichte von Schotter, Lehm, Kies und Sand.

¹⁾ JOLY, Technisches Auskunftsbuch.

²⁾ I. STINY, Technische Geologie, 1922.

	naß	trocken
Lehm	2,1	1,7
Kies	2,0	1,7
Sand	2,1	1,7.

Für den vorliegenden Fall waren aber diese Angaben nachzuprüfen, was in der Weise geschah, daß möglichst nahe der Sohle von Kiesgruben (am neuen Stadion, bei Zarten und bei Ebnet) möglichst genau würfelförmige Schottermassen mit dem Spaten ausgehoben und gewogen wurden. Die gleichzeitige Bestimmung des Volumen der ausgehobenen Masse ermöglichte dann die Dichtebestimmung. Die so erhaltenen Werte schwanken zwischen 1,9 und 2,0 — eine immerhin schon bemerkenswerte Übereinstimmung zwischen den recht weit auseinanderliegenden Probepunkten.

Dieser Wert wird nun aber durch die verschieden starke Grundwasserdurchtränkung des Bodens modifiziert. Denn es ist ohne weiteres ersichtlich, daß es für die Bodendichte nicht gleichgültig ist, ob das nach JOLY, LUEGER u. a. zwischen etwa 18% und 36% betragende Porenvolumen dieser Massen mit Wasser oder mit Luft gefüllt ist. Es bestehen nun aber leider keine genauen Anhaltspunkte für diese Durchtränkung in größerer Tiefe. Zwar ist der Grundwasserstand oberhalb Ebnet von der Leitung des städtischen Wasserwerks festgestellt worden, außerdem läßt die staatliche Wasserbauinspektion bei Ebnet einen Brunnen dauernd beobachten.

Diese Stationen sind aber zu weitläufig verteilt, um ein genaues Bild des Grundwasserstandes zu gewährleisten. Und sie können auch über die räumliche Verteilung des Wassers noch nichts aussagen; denn wenn z. B. irgendwo in einer uns nicht zugänglichen Tiefe eine lehmreichere Schicht den Grundwassertritt nach unten verhindert oder erschwert, so entstehen dadurch Komplikationen, die zwar rechnerisch zu erfassen, aber dennoch sehr unangenehm wären.

Wir wollen daher eine mittlere Dichte der fraglichen Talfüllung von 1,95 und damit einen mittleren Dichteunterschied von 0,8 annehmen. Dabei sind wir uns völlig klar darüber, daß im extrem ungünstigen Fall eine Talfüllungsdichte (für nassen Sand oder Lehm) von 2,1 und damit ein Dichteunterschied von 0,65 bzw. (für sehr trockenes Material) ein solcher von 0,95 resultieren kann, daß also im allerungünstigsten Fall unsere Annahme um etwa 20% fehlerhaft sein kann. Ohne umfangreiche Aufschlußarbeiten ist aber diesem Mangel nicht abzuhelpen — und wenn solche vorgenommen

werden sollen, ist eine Drehwagenuntersuchung eigentlich überflüssig. Wir behalten daher diesen Wert bei und wollen uns nur fragen, welchen Einfluß der dabei schlimmstenfalls auftretende Fehler auf unsere Resultate ausmacht. Dabei finden wir, daß die charakteristische Form eines Tals nicht verschleiert werden kann, sondern daß nur die aus den errechneten Gradienten errechnete Taltiefe um den Prozentsatz des Fehlers falsch sein wird, da der Dichteunterschied linear in die Formel eingeht.

Örtliche, plötzlich auftretende Dichteunterschiede können zwar das Bild ein wenig beeinflussen, doch muß die charakteristische Form des Tals immer noch erkennbar bleiben und ein ebenfalls um den prozentualen Fehler des Dichteunterschiedes falscher Wert der Tiefe resultieren.

Denken wir uns nämlich die Höhlung des Tales, die etwa trogförmig mit um 30° geböschten Seitenhängen und flacher ebener Sohle sein mag, einmal mit Gneis, dann mit trockenem Sand oder Lehm, ferner mit Schotter von 1,95 Dichte und schließlich mit nassem Lehm gefüllt, so zeigt die beigefügte Abb. 2, daß die Unterschiede in der Wirkung dieser verschiedenen lockeren Massen untereinander sehr gering sind und unter allen Umständen gegenüber der Wirkung eines massiven Gneisblocks zu erkennen sind.

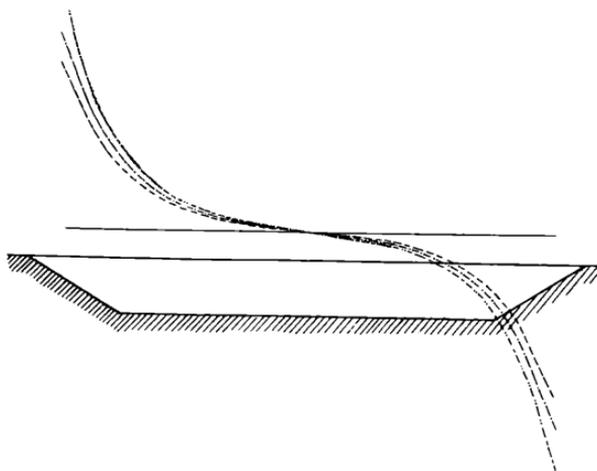


Abb. 2. Wirkung von Tal ausfüllungen verschiedener Dichte auf die Gradientenkurven.

—	bei Ausfüllung mit Gneis	vom spez. Gewicht 2,75
— · — · —	nassem Lehm	2,10
— · — · —	Lehm oder Kies	1,95
— · — · —	„ „ „ trockenem Sand	„ „ „ 1,75

Die schraffierte Basis des eingezeichneten trogförmigen Talprofils ist anstehender Gneis vom spez. Gewicht 2,75.

Denken wir uns andererseits eine Gradientenkurve gegeben und versuchen aus dieser Talform und Tiefe zu errechnen, so zeigt die nächste Abb. 3, daß die Form unter allen Umständen richtig erkannt werden muß, daß aber eine Tiefe resultiert, die um den bei der Bestimmung des Dichteunterschiedes im ungünstigsten Fall gemachten Fehler unsicher ist.

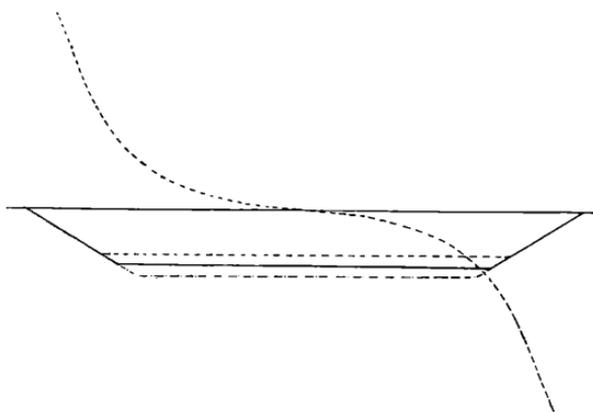


Abb. 3. Aus einer Gradientenkurve ermittelte Talform und Tiefe bei verschiedener Dichte der Talausfüllung.

—————	Taltiefe bei Ausfüllung mit Material vom spez. Gewicht 2,10	1,95
-----	„ „ „ „ „ „ „ „ „	1,70
	Spezifisches Gewicht des anstehenden Gesteins = 2,75.	

Praktisch wird diesem Mangel nun dadurch zu steuern sein, daß man möglichst alle Aufschlüsse, die im fraglichen Gebiet im Talschotter vorhanden sind, prüft, eventuell vorhandene Bohrungen noch zur Kontrolle mit hereinbezieht und nach sämtlichen hierbei gemachten Beobachtungen sich die Frage vorlegt, ob es gestattet ist, aus sämtlichen dabei gefundenen Werten einen Mittelwert zu bilden, ohne daß dadurch das Ergebnis allzu unsicher wird.

Das wird nicht immer der Fall sein. In dem vorliegenden Problem aber zeigen einmal sämtliche im Tal vorhandenen Kiesgruben ein hinreichend gleichmäßiges Material, trotzdem sie recht unregelmäßig verteilt sind. Weiterhin liefert eine innerhalb der Stadt etwa 8 m niedergebrachte Bohrung, von der später noch eingehend zu sprechen sein wird, ebenfalls Kies von ganz ähnlichen Eigenschaften. Schließlich wurde auch bei der in Günterstal vorgenommenen Tiefbohrung nichts Abweichendes gefunden, wie mir Herr Landesgeologe Dr. SCHNARRENBERGER liebenswürdigerweise mitteilte.

Wir halten es nach diesen zahlreichen Verifikationen der näherungsweise gleichmäßigen Zusammensetzung des Untergrundes nicht für zu kühn, den oben angegebenen Mittelwert unserer Berechnung zugrunde zu legen. Über den Einfluß der Grundwasserverhältnisse ist dann allenfalls noch durch den Versuch zu entscheiden, indem man eine Messungsreihe zur Zeit extrem niedrigen Grundwasserstandes und eine bei höherem Stand an derselben Stelle durchführt. Zeigt sich dabei ein die Genauigkeitsgrenze des Gesamtversuchs überschreitender Unterschied, so ist er auf die Grundwasserverhältnisse zurückzuführen und in irgendeiner Weise herauszukorrigieren, wozu die später zu besprechenden Auswertungsverfahren zu benutzen wären. Die Durchführung dieses Versuches an einem der gemessenen Profile zeigte keine auswertbaren Unterschiede; ein Zeichen dafür, daß die Schwankungen im Grundwasserspiegel keinen Einfluß auf unser Instrument ausüben.

Wir müssen nun die approximative Größe der zu erwartenden Gradienten abschätzen. Die bereits erwähnte Formel gibt für Tal-tiefen zwischen 50 und 200 m Gradienten in der Richtung senkrecht zur Talachse von maximal 50 bis $200 \cdot 10^{-9}$ CGS. Probenmessungen zeigten die Richtigkeit der Vermutung; es wurden nirgends Werte gefunden, die 50 bis $70 \cdot 10^{-9}$ CGS überstiegen. Daher konnte man sich mit einer Empfindlichkeit des Instrumentes begnügen, die Gradienten von etwa ± 5 CGS $\cdot 10^{-9}$ erkennbar bleiben ließ.

Entsprechend diesen Annahmen und Bestimmungen war der Meßplan aufzustellen. Es mußte dabei in Anlehnung an die verfügbaren Formeln zunächst angestrebt werden, an recht vielen Stellen die Änderung der Gradienten bei Annäherung an die Böschungen festzustellen, also Querprofile auszumessen. Die Zahl dieser Profile konnte vor dem Beginn der Messungen nicht genau festgelegt werden, da bei Auftreten von unerwarteten Gradienten-größen und -richtungen eine Sondermessung erforderlich geworden wäre. Er schien jedoch nach Maßgabe der allgemeinen Geländegestaltung nicht nötig, mehr als etwa ein Profil je Kilometer Tal-länge zu messen. Innerhalb der einzelnen Profile konnte die Zahl der Stationen auch vorerst nicht bestimmt werden; hier war es aber angebracht, zunächst in wenigstens einem besonders geeigneten Profil sehr viele Stationen (etwa eine Station auf 50 m Talbreite) zu messen und nach den hierbei erhaltenen Werten bei den übrigen Profilen zu verfahren. Allenfalls konnte schließlich noch auf einem

oder zwei Längsprofilen die Richtigkeit der Querprofile nachgeprüft werden.

Innerhalb der Stadt Freiburg selbst waren Messungen nicht ratsam, da die Zusammensetzung des Untergrundes hier zu unregelmäßig (Kellerräume, Erdarbeiten u. a.) ist. Dennoch wurde im Verlauf des ersten Querprofils vom Deichelweiher nach der Fabrikstraße drei Stationen innerhalb der Stadt gemessen, die diskutierbare Ergebnisse lieferten. Das nächste Profil ging von der Haltestelle Waldsee der Höllentalbahn nach Norden bis zur Schwarzwaldstraße. Eine Fortsetzung bis zum anderen Ufer ließ die Geländegestaltung nicht zu. Das nächste Profil verlief zwischen dem neuen Stadion am Waldsee und der Villa etwa 500 m östlich der Sandfangbrücke an der Straße Freiburg—Karthaus—Ebnet. Dieses wurde mit großer Gründlichkeit behandelt und mehrfach durchgemessen, um recht einwandfreie Resultate zu erhalten, von denen aus dann zur Einordnung der Ergebnisse der Stationen östlich und westlich dieses Profils geschritten werden konnte.

Im östlichen Teile des Tales wurde, wie aus den beigegeführten Karten hervorgeht, bei Ebnet-Littenweiler, ferner bei Kappelertal und östlich (etwa 1 km) vom Kappelertal je ein Profil gemessen. Weiterhin wurden vom Oberriedertal bei Kircharten aus zwei Profile nach Zarten-Wittental und nach Eschbach gelegt. Schließlich mußte bei Burg-Himmelreich in der Gegend des alten Tardunum noch ein Profil zum Vergleich gemessen werden. Im ganzen sind somit 9 Querprofile gemessen worden, die zur Lösung des uns beschäftigenden Problems ausreichten.

Für die Messungen wurden Drehwagen in der von O. HECKER angegebenen Konstruktion verwendet, die in dankenswerter Weise von der Gesellschaft für praktische Geophysik hierselbst zur Verfügung gestellt wurden. Die Instrumente zeigen Trägheitsmomente von etwa 4000 CGS, die sowohl rein rechnerisch, als auch durch Beobachtung der Schwingungsdauer bestimmt wurden.

Es wurden gefunden

Azimut	Gehänge 1				Gehänge 2			
	0		$\frac{\pi}{2}$		0		$\frac{\pi}{2}$	
Schwingungs-	6 Min. 32 Sek.	6 Min. 43 Sek.	6 Min. 29 Sek.	6 Min. 40 Sek.	6 Min. 32 Sek.	6 Min. 41 Sek.	6 Min. 37 Sek.	6 Min. 44 Sek.
dauer	6 „ 35	6 „ 44	6 „ 32	6 „ 41	6 „ 37	6 „ 44	6 „ 35	6 „ 44
Mittel	395 Sek.	404 Sek.	393 Sek.	401 Sek.	395 Sek.	401 Sek.	395 Sek.	401 Sek.

Die Schwingungsweiten verhielten sich miteinander wie 26,5:1; daraus berechnet sich eine Schwingungsdauer für ungedämpfte Schwingungen von

275 Sek. 282 Sek. 273 Sek. 281 Sek.

Dies in die Formel

$$\frac{K}{\tau} = \frac{1}{2\pi^2} (T_0^2 + T_0'^2)$$

(K = Trägheitsmoment,
 τ = Torsionskonstante)

eingesetzt, gibt

$$\frac{K}{\tau} = 7890 \qquad \qquad \qquad 7860$$

und da bei diesem Versuch die Torsionskonstanten der Drähte, wie in später anzugebender Weise ermittelt wurde,

$$\tau = 0,532 \qquad \qquad \qquad 0,524$$

waren, fand sich K selbst zu

$$K = 4200 \qquad \qquad \qquad 4120$$

Es wurde überdies rein mathematisch bestimmt:

1. Das Trägheitsmoment der Gehänge ohne die Gewichte

	Gehänge 1	Gehänge 2
$K_1 = \frac{2}{3} m_1 l_1^2$	263	280

2. Das Trägheitsmoment der beiden Gewichte

$K_2 = m_2 l_2^2 + m_3 l_3^2$	3918	3851
zusammen	4181	4131

CGS-Einheiten.

Die zur Verwendung gekommenen Torsionsdrähte aus einer Legierung von 80 % Platin und 20 % Iridium wurden von HERÄUS in Hanau bezogen und von Herrn Geheimrat Prof. Dr. O. HECKER-Jena nach eigenem Verfahren getempert, um den elastischen Gang möglichst zu entfernen. Eingehende Vorversuche zeigten, daß ein Fehler in dieser Beziehung bei geeigneter Behandlung der Drähte nicht auftrat. Ferner wurde das Verhalten der Drähte gegenüber Temperaturänderungen geprüft. Hierbei wurde bei den verschiedenen Drähten eine Abhängigkeit der Ruhelage von der Temperatur festgestellt, die jedoch bei einigen Exemplaren gering genug war, um vernachlässigt werden zu können. Ein Paar solcher temperaturunempfindlicher Drähte von 0,04 mm Durchmesser wurde ausgewählt und bei den Messungen verwendet. Es zeigten sich keine nennenswerten Abweichungen zwischen den Angaben des Instrumentes bei verschiedenen Temperaturen, wie aus dem nachfolgenden Schema zu ersehen ist.

Es wurde am gleichen Platze mit demselben Instrument beobachtet:

Wage	Datum Zeit	Temp.	Differenzen $n-n_0$		Grad g_x	Grad g_y	$\frac{\delta^2 U}{\delta y^2}$	$-\frac{\delta^2 U}{\delta x^2}$	$\frac{\delta^2 U}{\delta x \delta y}$
G ₁	15. 8. 23								
	1 ³⁰	29,9	+1,4	0,0					
	2 ⁴⁵ p. m.	30,0	-0,6	+0,7	+17,3	+40,8	-74,6		+55,0
	4 ⁰⁰	30,0	-0,8	-0,6					
	16. 8. 23								
	9 ³⁰	20,8	+1,4	0,0					
	10 ³⁰ a. m.	21,7	-0,6	+0,6	+14,1	+40,8	-64,6		+55,0
	11 ³⁰	26,5	-0,8	+0,6					
	17. 8. 23								
	3 ⁰⁰	25,8	+1,4	0,0					
4 ¹⁵ p. m.	25,0	-0,6	+0,6	+17,3	+35,4	-64,6		+55,0	
5 ⁴⁵	20,3	-0,7	-0,6						
18. 8. 23									
10 ⁰⁰	17,0	+1,3	0,0						
11 ⁰⁰ a. m.	19,0	-0,6	+0,6	+15,7	+38,1	-70,0		+60,3	
12 ⁰⁰	20,8	-0,8	-0,6						

Mittelwert aus diesen Beobachtungen (ausgeglichen)

+16,0 +38,9 -68,6 +57,3

Schließlich mußte noch die Torsionskonstante dieser Drähte bestimmt werden. Hierzu wurde eine Eisenkugel von 8,65 kg Gewicht zunächst an die eine, dann an die andere Seite des hängenden Gewichts so hingelegt, daß die Schwerpunkte beider Massen in einer horizontalen Geraden senkrecht zur Gehängeebene liegen.

Es wurde gefunden:

		Gehänge 1	Gehänge 2
$n-n'$ =	Änderung der Gleichgewichtslage in Skalenteilen beim Umlegen der Kugel	3,8	3,8
m =	Masse des hängenden Gewichts	15,64 g	15,46 g
λ =	Länge des hängenden Gewichts	5,42 cm	5,37 cm
l =	Drehungsarm des hängenden Gewichts	11,25 cm	11,19 cm
D =	Entfernung Skala-Spiegel	740 Skalenteile	
M =	Masse der ablenkenden Kugel	8650 g	
e =	Mittlere Entfernung des Kugelschwerpunkts von der Achse des angezogenen Zylinders	12,00 cm	
G =	Gravitationskonstante	$66,3 \cdot 10^{-9}$	

Diese Werte, in die Formel:

$$\tau \cdot \frac{n' - n}{2D} = 2G \cdot \frac{M \cdot m}{e^2} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\lambda^2}{4e^2}}} \cdot 1$$

eingesetzt, geben die Torsionskonstante τ in CGS-Einheiten für

Gehänge 1	Gehänge 2
zu 0,532	0,524

Bei diesen Torsionskonstanten und nach Maßgabe der übrigen Konstanten des Instruments entspricht einem Zehntel-Skalenteil Ablesungsänderung eine maximale Änderung der Werte für

$\frac{\delta^2 U}{\delta y^2}$	$\frac{\delta^2 U}{\delta x^2}$	$\frac{\delta^2 U}{\delta x \delta y}$	$\frac{\delta^2 U}{\delta x \delta z}$	$\frac{\delta^2 U}{\delta y \delta z}$
von 4,4	5,3	1,6	2,8	CGS · 10 ⁻⁹

Es würde hier zu weit führen, in eine genaue Diskussion der Fehler einzutreten. Für unseren Zweck genügt es, wenn wir auf Grund vergleichender Messungen am gleichen Platze feststellen können, daß der Maximalfehler der Ablesungen etwa 2—3 Zehntel-Skalenteile nicht überschreitet. Dies zeigen die beigefügten Messungen. Der so entstehende Fehler kann also maximal betragen für

$\frac{\delta^2 U}{\delta y^2}$	$\frac{\delta^2 U}{\delta x^2}$	$\frac{\delta^2 U}{\delta x \delta y}$	$\frac{\delta^2 U}{\delta x \delta z}$	$\frac{\delta^2 U}{\delta y \delta z}$
etwa 12	15	3	6	CGS · 10 ⁻⁹

Damit bleiben wir bei den Gradienten innerhalb der Fehlergrenzen, die wir oben als noch statthaft zugelassen haben.

Die Messungen selbst wurden vom August bis Dezember 1923 vorgenommen. Die meist recht günstige Witterung erleichterte die Arbeit ungemein, da an windstillen Tagen ohne jedes Zelt gemessen werden konnte. Ein nennenswerter Temperaturgang der Drähte war selbst dann nicht festzustellen, wenn die Sonne bei 30° C Lufttemperatur direkt auf das Instrument schien. An windigen Tagen mußte ein leichter Schirm zum Schutze des Instruments gegen Windstöße aufgestellt werden. Schwere Zelte, wie R. Eötvös sie noch benutzte, brauchten nicht verwendet zu werden. Eine besondere Vorbereitung der Stationsplätze war auch nicht notwendig; es zeigte sich, daß der Boden überall tragfähig genug war, um das Instrument erschütterungsfrei aufstellen und ablesen zu können. Ackerboden auf abgeernteten Stoppelfeldern mußte meist etwas eingeebnet werden, wozu ein Spaten genügte. Wiesenboden war durchweg ohne Einebnung zur Aufstellung des Instrumentes geeignet. Die Messungen konnten infolge der guten Eigenschaften der Drähte

bei Tage vorgenommen werden. Einzelne Stationen wurden auch bei Nacht photographisch registriert oder mittels Lampe visuell beobachtet. Gleichzeitig wurden die Nivellierung und Feststellung des Gelände-Neigungswinkels in der eingangs beschriebenen Weise durchgeführt. Bei dieser verhältnismäßig bequemen Messungsart konnten bis zu 5 Stationen im Tag mit einem Instrument erledigt werden. Dies Ergebnis hätte bei Zuhilfenahme des Registrierwerks noch auf etwa 7 Stationen in 24 Stunden gesteigert werden können, doch wären dann während der Nachtzeit Wachmannschaften notwendig gewesen. Es wurde daher von der Durchführung eines ununterbrochenen Messungsbetriebes abgesehen, zumal neben dem eigentlichen Beobachten noch der nicht unbeträchtliche rechnerische Teil der Arbeit erledigt werden mußte.

Dieser bestand zunächst im Ausrechnen der Gradienten aus den gemessenen Werten, wozu vorgedruckte Formulare verwendet wurden. Dann war die Terrainkorrektion in der von EÖTVÖS angegebenen Weise auszurechnen, was ebenfalls durch Benutzung von Formularen vereinfacht wurde. Für die Berechnung der kartographischen Wirkung waren Hilfsmittel nicht vorhanden. Daher wurde ein besonderes Instrument zur Messung der für die Berechnung nötigen Werte auf einer Karte konstruiert und eine Tafel errechnet, wodurch die Ermittlung der Korrekturen wesentlich vereinfacht wurde. Es zeigte sich dabei, daß diese Korrektion nur bei solchen Stationen, die weniger als etwa 100 m von den Talhängen entfernt waren, nennenswert in Betracht kam. Leider sind aber die zwischen 50 und 100 m vom Talhang entfernten Stationen sehr wichtig zur Feststellung der Talform, so daß von einer Bestimmung dieser Korrektion für solche Stationen nicht abgesehen werden konnte.

Schließlich war für die Deutung der Ergebnisse ein Verfahren auszubilden, nach dem aus der oben erwähnten HELMERT'schen und EÖTVÖS'schen Formel, die seinerzeit nur als Korrektion gedacht war, die Talform sich bestimmen ließ. Diese Formel für den Gradienten senkrecht zur Böschung lautet:

$$\frac{dg}{ds} = 2 G (\sigma' - \sigma) \sin i \left[(\alpha_2 - \alpha_1) \cos i + 2,303 \sin i \log \frac{r_2}{r_1} \right]$$

Darin bedeutet (vgl. Abb. 4):

G die Gravitationskonstante,

$\sigma' - \sigma$ den Unterschied der Dichten an der Trennungsfläche,

α_1, α_2 die resp. Neigungswinkel, unter dem Böschungsanfang und Böschungsende vom Stationspunkt aus erscheinen,

r_1, r_2 die Entfernungen dieser beiden Punkte vom Stationspunkt,
 i den Böschungswinkel

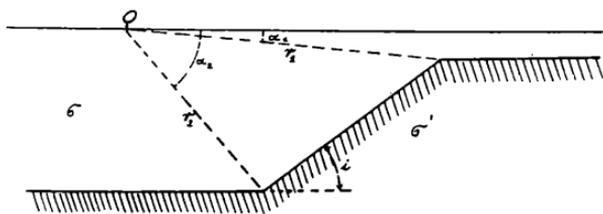


Abb. 4. Einfluss einer unterirdischen Eöschung.

Für die Ermittlung der Talform vereinfacht sich die Formel ein wenig, da $\alpha_2 = 0$ und $r_1 =$ der Entfernung der Station vom Hange selbst wird. Aus dieser Formel sind nun die Taltiefen zu errechnen. Es wurde dazu ein graphisches Verfahren benutzt. Errechnet man nämlich aus dieser Formel für Taltiefen zwischen 20 und 150 m und Böschungswinkel zwischen 10° und 50° die Werte $\frac{dg}{ds}$ für verschiedene Entfernungen vom Abhang und trägt diese

Werte als Ordinaten in eine maßstäbliche Zeichnung des Talprofils ein, so bilden die untereinander verbundenen Endpunkte dieser Ordinaten eine Kurve, die die Änderung der Gradienten bei Annäherung an den Abhang erkennen läßt. Solche Kurven hat schon Eötvös gelegentlich der Besprechung der Anwendungsmöglichkeiten seines Instrumentes gegeben. Es liegt nun nahe, die Kurven auch zur quantitativen Formbestimmung auszunutzen. Dabei zeigt sich, daß tatsächlich die zu einer bestimmten Talform gehörige Gradientenkurve sehr charakteristisch ist und innerhalb der zugelassenen Fehlergrenzen eine recht genaue Bestimmung der Talform zuläßt, indem man einfach die mittels des Instrumentes gemessenen und auf Grund der angegebenen Formeln korrigierten Gradientenwerte in gleichem Maßstab in ein Talprofil einzeichnet und dieses Profil mit dem oben beschriebenen Kurvennetz zur Deckung bringt; ein Verfahren, das in der Technik häufig benutzt wird. Diejenige Kurve des Netzes, die der gemessenen Gradientenkurve am nächsten kommt, gehört zu einem Talprofil, das dem Profil an der betreffenden Stelle am genauesten entspricht. Liegen aber zwei oder mehrere trogförmige Talprofile ineinander, wie dies auch wohl vorkommen kann und im vorliegenden Fall tatsächlich vorkommt, so ist bei hinreichend scharfen Absätzen zwischen den einzelnen Stufen leicht ein Summations- oder Differenzwert bzw. eine solche Kurve und

ein aus solchen Kurven bestehendes Netz in der angedeuteten Weise zu bilden und mittels eines solchen die Auswertung, wie oben geschildert, vorzunehmen. Verschwimmen die Übergänge zwischen den einzelnen Stufen, besonders, wenn diese zu zahlreich werden, so ist natürlich nur gleichsam eine oskulierende Ebene an dieses Profil zu ermitteln, was aber auch genügen dürfte. Im vorliegenden Problem trat dieser Fall nicht ein; es zeigten sich relativ scharfe Übergänge, die auch eine recht genaue quantitative Bestimmung der Talform ermöglichten.

Wir können nunmehr dazu übergehen, einen Abriß der Resultate der Messungen zu geben. Die beigelegten Tabellen enthalten die errechneten Zahlenwerte der Gradienten mit ihren Korrekturen. Die Karten zeigen die korrigierten Gradienten ihrer Größe und Richtung nach, sowie die durch Punkte mit gleichgroßen Gradienten senkrecht zu deren Richtung gelegten Linien gleicher Schwerkraftsänderung. In den schließlich noch beigegebenen Querprofilen ist die Größe der Gradienten in Richtung des Profils — also stets ziemlich genau Nord—Süd — eingetragen. Die zu den so ermittelten Gradientenkurven gehörigen Talquerschnitte sind ebenfalls beigelegt.

Die Anwendbarkeit des oben beschriebenen Verfahrens der quantitativen Auswertung dieser Querprofile ist hier gewährleistet, da die 1905 vorgenommene Schweremessung ein Gleichbleiben der g -Werte in der Nord—Südrichtung für unser Gebiet ergeben hat, wie die bei W. DEECKE, „Die Resultate der Schweremessungen im südlichen Schwarzwald“¹⁾ mitgeteilte Karte uns zeigt.

Aus dem gleichmäßigen Verlauf der Linien gleicher Schwerkraftsänderung und der Ähnlichkeit der Querprofile geht hervor, daß das Längsprofil des Tals keine Überraschungen bieten kann. Wir ersparen uns daher die zeitraubende quantitative Diskussion von Längsprofilen und entnehmen die für ihre Zeichnung notwendigen Werte aus den ermittelten Querprofilen.

Im einzelnen zeigen die Querprofile eine durchweg recht geringe Schotterbedeckung der Felsschale, in die nur an einer Stelle des Querschnitts eine etwas tiefere Rinne eingeschnitten zu sein scheint. Das Tal ist also im ganzen recht flach, selbst die Rinne ist nicht über etwa 50 m tief. Diese Rinne verläuft zwischen Frei-

¹⁾ W. DEECKE, Die Resultate der Schweremessungen im südlichen Schwarzwald und in Elsass-Lothringen im Vergleich mit dem geologischen Bau dieser Gebiete. Berichte der naturforschenden Gesellschaft, Freiburg i. B. XVIII (1910), Heft 1, S. 57—65.

Gradientenwerte mit Korrekturen für die Stationen Nr. 1—60.

Lfd. Nr.	Prof.	Rohe Werte	Terrain-korrektion	Kartogr. Korrektion	Endwerte
1	I	— 55,0 — 68,0	+ 15,0 + 25,0	— 4,0 + 11,3	— 52,1 — 31,7
2	"	+ 61,2 + 8,2	+ 12,3 — 3,9	— 1,5 + 4,5	+ 63,9 + 8,8
3	"	+ 16,1 + 30,0	— 5,7 — 9,4	+ 3,2 + 3,6	+ 5,5 + 24,2
4	"	+ 25,1 + 27,2	+ 7,7 — 3,9	+ 4,2 + 3,7	+ 28,3 + 27,0
5	"	+ 16,4 + 26,3	+ 2,7 — 3,5	+ 21,5 + 4,2	+ 32,5 + 27,0
6	II	+ 296,7 + 133,3	— —	— 290,0 — 120,0	— 1,4 + 13,3
7	"	+ 75,4 + 32,6	— 6,2 — 8,5	— 72,0 — 2,6	— 10,9 + 21,5
8	"	+ 25,1 + 32,6	+ 5,4 — 11,5	— 72,0 — 2,6	— 49,6 + 18,5
9	"	+ 22,0 + 10,9	— 4,6 — 6,2	— 20,5 + 2,4	— 11,2 + 7,1
10	"	+ 47,1 + 5,4	— 14,6 + 7,5	— 20,5 + 2,4	+ 3,9 + 15,3
11	"	+ 17,3 + 24,5	+ 3,9 — 9,2	— 16,4 + 2,1	— 3,3 + 17,4
12	"	+ 42,4 + 19,0	+ 2,6 — 3,5	— 6,2 + 1,9	+ 30,7 + 17,4
13	"	+ 31,4 + 16,3	+ 16,7 + 3,1	— —	+ 40,0 + 17,4
14	"	+ 34,5 + 27,0	— 17,4 — 9,4	— —	+ 9,0 + 17,6
15	III	— 32,9 — 19,9	+ 16,5 + 9,3	— 10,4 + 3,6	— 34,9 — 7,0
16	"	— 13,1 + 21,8	+ 3,1 — 13,6	— 10,4 + 3,6	— 28,5 + 11,8
17	"	— 11,6 + 36,2	+ 13,4 — 17,2	— 6,5 + 3,2	— 12,8 + 22,2
18	"	— 6,4 + 13,8	+ 9,3 — 2,5	— 6,5 + 3,2	— 11,7 + 14,5
19	"	+ 17,3 + 2,7	— 2,4 + 6,1	— 3,5 + 2,9	+ 3,3 + 11,7
20	"	— 25,1 + 5,4	— 2,6 + 5,7	— —	— 35,8 + 11,1
21	"	— 3,4 + 14,2	+ 5,2 — 2,7	— —	— 6,3 + 11,5
22	"	— 6,3 + 5,4	+ 9,7 + 5,3	— —	— 4,7 + 10,7
23	"	+ 4,5 + 25,2	+ 3,7 — 14,6	— —	+ 0,1 + 10,6
24	"	+ 31,4 + 13,5	+ 9,7 — 2,4	— —	+ 33,0 + 11,1
25	"	+ 3,1 + 16,3	+ 6,2 — 6,9	— —	+ 1,2 + 9,4
26	"	+ 14,1 + 12,7	— 5,4 + 2,1	— —	+ 0,6 + 14,8
27	"	+ 6,3 + 5,4	+ 8,9 — 1,7	— —	+ 7,1 + 3,7
28	"	+ 4,7 + 29,9	+ 5,4 — 14,6	— —	+ 2,0 + 15,3
29	"	+ 4,2 + 26,3	+ 3,5 — 16,1	— —	— 0,4 + 10,2
30	"	+ 6,9 + 16,3	+ 1,6 — 5,1	+ 3,5 + 1,6	+ 3,9 + 12,8
31	"	+ 20,4 + 10,1	— 10,4 + 2,1	+ 16,4 + 2,0	+ 18,3 + 14,2
32	"	— 62,8 + 27,2	+ 12,7 — 13,1	+ 67,7 + 3,5	+ 9,5 + 17,6
33	"	+ 1,6 + 8,2	+ 7,3 + 5,6	+ 12,3 + 3,5	+ 13,1 + 17,3
34	"	+ 3,9 + 6,5	+ 6,9 + 7,3	+ 10,5 + 4,5	+ 13,2 + 18,3
35	"	+ 2,1 + 9,5	+ 3,9 + 2,4	+ 12,1 + 3,5	+ 10,0 + 15,4
36	IV	— 26,3 + 10,7	+ 12,9 + 1,6	— —	— 21,5 + 12,3
37	"	— 3,7 + 12,5	+ 6,9 + 1,8	— —	— 4,9 + 14,3
38	"	+ 32,9 + 11,4	+ 5,7 + 1,2	— —	+ 31,5 + 12,6
39	"	+ 16,5 + 7,3	— 2,9 + 5,4	+ 14,5 + 1,0	+ 20,0 + 13,7
40	V	+ 5,9 — 20,7	— 2,3 + 9,3	— 8,5 — 7,5	— 13,0 — 18,9
41	"	— 7,4 + 12,5	+ 12,3 — 3,9	— —	— 3,2 + 8,6
42	"	— 18,3 + 6,4	+ 1,9 + 5,7	— —	— 24,5 + 12,1
43	"	+ 3,9 + 9,7	+ 3,2 + 2,5	— —	— 1,0 + 12,2
44	"	+ 55,0 + 35,4	— 14,8 — 9,6	— —	+ 32,1 + 25,8
45	VI	— 15,2 + 12,3	+ 3,9 — 4,1	— —	— 19,4 + 8,2
46	"	— 19,4 + 25,3	+ 5,7 — 10,5	— —	— 22,8 + 14,8
47	"	+ 27,3 + 12,4	+ 8,9 + 2,5	— —	+ 28,1 + 14,9
48	—	+ 3,7 — 0,9	+ 3,9 — 3,1	— —	— 1,5 — 4,0
49	VII	— 12,6 + 10,6	+ 2,4 — 6,7	— —	— 18,3 + 3,9
50	"	+ 4,5 + 12,7	+ 1,9 — 3,5	— —	— 2,3 + 9,2

Fortsetzung der Tabelle.

Lfd. Nr.	Prof.	Rohe Werte	Terrain-korrektion	Kartogr. Korrektion	Endwerte
51	VII	+ 5,1 — 5,4	— 3,9 + 7,5	— —	— 6,9 + 2,1
52	"	+ 11,6 + 2,7	+ 5,9 + 3,7	— —	+ 9,4 + 6,4
53	"	+ 25,1 — 3,4	— 1,7 + 3,5	— —	+ 15,3 + 0,1
54	VIII	+ 1,6 + 2,7	+ 4,3 + 3,9	— —	— 3,8 + 6,6
55	"	— 20,8 + 16,3	+ 18,5 — 4,7	— —	— 10,4 + 11,6
56	"	0,0 + 54,4	+ 2,3 — 26,5	— —	— 5,8 + 31,9
57	"	+ 12,3 + 16,9	— 4,7 — 5,6	— —	— 0,5 + 11,3
58	"	+ 37,7 + 27,2	— 15,7 — 9,1	— —	+ 13,9 + 18,1
59	IX	— 16,3 + 12,5	+ 5,3 + 1,6	— —	— 19,1 + 14,1
60	"	+ 14,7 + 9,2	— 2,7 + 4,3	— —	+ 3,9 + 13,5

burg und Littenweiler auf der südlichen Talseite, geht dann mehr nach Norden über und scheint sich schließlich in Richtung des Rechtenbachtals oder Eschbachtals fortzusetzen, während in Richtung der heutigen Hauptzuflüsse, also Wagensteig- oder Oberrieder- und Höllental, geringere Tiefen gefunden werden. Die sehr großen Tiefen, die STEINMANN im geologischen Führer für die Talerweiterung bei Zarten mutmaßt, können nach dem Ergebnis der Messungen als ausgeschlossen bezeichnet werden.

Mit diesen Profilen haben wir nun einen Anhalt für die Beurteilung des Tales gewonnen. Die daraus hervorgehende Form der Felsschale ist aber einstweilen nur eine mathematische Fläche, für deren Richtigkeit zwar, wie aus unseren bisherigen Betrachtungen hervorgeht, starke Gründe angeführt werden können, die aber gleichwohl in den Einzelheiten von manchen Annahmen abhängig ist, die nicht unbedingt richtig sein müssen.

Wir wollen daher die Forderung nach dem experimentum crucis soweit als möglich zu erfüllen suchen und alle Beobachtungen an natürlichen und künstlichen Aufschlüssen zusammenstellen, die eine Nachprüfung der Ergebnisse gestatten.

Dabei zeigt sich zunächst, daß die Dreisam, die gewissermaßen der Hauptlieferant natürlicher Aufschlüsse sein muß, an drei Stellen — bei Ebnet, am Sandfang und an der Schwabentorbrücke — tatsächlich den festen Gneis in ihrem Bett anschneidet. Dies entspricht recht gut unseren Ergebnissen; denn für diese Stellen ist eine sehr geringe Schotterbedeckung durch die Messungen wahrscheinlich gemacht worden.

An künstlichen Aufschlüssen haben wir die durchweg nur

flachen Bohrungen der Wasserversorgung, die natürlich überall im Kies stehen und diesen nicht durchteufen. Diese Bohrungen widersprechen also unserem Ergebnis nicht. Ebenso wenig ist dies der Fall bei einer Bohrung innerhalb der Stadt, deren Ergebnisse ich einer mündlichen Mitteilung von Herrn Dr. SCHNARRENBERGER verdanke. Es handelt sich um die in der Günterstalstraße nahe der Kaiserbrücke gelegene Fischhandlung REINHARDT, in deren Keller ein Brunnen niedergebracht wurde, der bei 8 m unter Bachniveau = Kellerniveau scheinbar auf festen Gneis traf. Beim Versuch, weiter zu bohren, zeigte sich, daß man nur auf einen größeren Gneisblock gestoßen war. Es gelang, diesen zu zerschlagen; und bei der Fortsetzung der Bohrung fand sich wieder Kies, der nicht durchteuft wurde. Vielleicht sind wir an dieser Stelle schon an dem Ausläufer der Rinne — was sich leider mit der Drehwage nicht nachprüfen läßt, da in dieser belebten Gegend Messungen sehr zeitraubend und unsicher (wegen des stark durchgearbeiteten Untergrundes) würden.

Tatsächlich durchsunken wird von allen den genannten Bohrungen der Schotter nicht — und kann es auch nicht, da alle diese Bohrungen nicht tief genug sind, um die aus unseren Messungen ermittelte Felsoberfläche erreichen zu können. Dagegen ist dies der Fall bei einer Anzahl von Bohrungen, die außerhalb des Tals im Mooswald westlich von Freiburg und nördlich bei Herdern niedergebracht worden sind.

Aus diesen Bohrungen geht hervor, daß östlich der Linie Lehenerbergle—Nimburg ein Sockel aufsteigt, der nur von etwa 15 m Kies überlagert wird. Die Kiesbedeckung hat sich an keiner Stelle mächtiger gezeigt. Westlich von dieser Linie wurde der Kies aber erst bei 35—54 m durchteuft. Diese Bohrungsergebnisse sind durchaus geeignet, unser Ergebnis zu stützen; denn diese plötzlich auftretenden größeren Tiefen sind wahrscheinlich die Fortsetzung der Rinne, die nach unseren Messungen das eigentliche Tal durchzieht. Die geringere Schottermächtigkeit außerhalb dieser Stellen entspricht auch recht gut dem durch die Messungen wahrscheinlich gemachten flachen Talboden auf der Nordseite des Tals zwischen Freiburg und Ebnet.

Damit zeigt sich, daß die vorhandenen Aufschlüsse und beobachteten sonstigen Tatsachen sämtlich für unsere Ergebnisse — oder zum wenigsten nicht dagegen zeugen. Leider ist ihre Anzahl

recht gering, und es gelang mir nicht, weitere Beobachtungen zur Bestätigung der Rechnung zu erhalten.

Somit bleibt die gemessene Felsschale eine mathematische Fläche, wie auch schon oben erwähnt wurde.

Wenn wir uns nun noch fragen, wie die ermessenen Talquerschnitte zu deuten sind, so ist zunächst zu beachten, daß allen Profilen gemeinsam eine regelmäßig breite und flache Sohle ist, in die in der westlichen Hälfte des Tales eine deutliche Rinne geschnitten ist.

Diese Rinne ist wahrscheinlich der Anfang einer begonnenen weiteren Erosion, die dann — und zwar nach verhältnismäßig kurzer Zeit — zum Stillstand kam. Durch Schotteranhäufung in einer folgenden Akkumulationsperiode wurde die ganze Anlage verschüttet und noch über diesen Talanfang hinaus zugedeckt, so daß auch die beiderseits noch stehengebliebenen Reste der breiten, flachen Talsohle unter der Schottermasse verschwanden. Diese Reste sind wahrscheinlich Schultern, wie wir sie ähnlich auch weiter oben an den Talhängen (z. B. der großen Schneckenschanze und der Franzosenschanze bei Freiburg, etwa 60 m über der heutigen Taloberfläche kennen. Ebenso zeigen die Hänge in der östlichen Talhälfte bei Kirchzarten und Wiesneck solche Bildungen, die aber nicht immer in der gleichen Zahl auftreten und auch nicht in gleicher Höhe relativ zur Talsohle oder zum Meeresspiegel liegen und somit nicht recht in ein System zu bringen sind.

Auch manche anderen Täler des südlichen Schwarzwaldes zeigen solche Schultern, wobei im allgemeinen diese Bildungen durchschnittlich etwas größere Meereshöhe besitzen, je weiter wir nach Süden kommen.

Im vorliegenden Beispiel ist die ältere höhere Schulteranlage durchaus großartiger und weiter ausholend, während die jüngere von Schotter verdeckte Bildung zierlicher, aber im Zusammenhang erhalten ist. Im Ganzen entsprechen die Abmessungen der älteren Anlage ungefähr dem bei anderen Schultertälern beobachteten; die jüngere Bildung dagegen findet sich ähnlich nur bei einigen verhältnismäßig kleineren Tälern, wie etwa dem Simonswäldertal, und ist auch hier meist durch Bedeckung mit Gehängeschutt und Schotter ziemlich stark verschleiert.

Dies sind wohl die wichtigsten Schlüsse, die wir unmittelbar aus den Ergebnissen der Messung ziehen können. Das von dieser gelieferte Bild noch weiter in seine Einzelheiten zu verfolgen, wäre

etwas verfrüht, da einmal, wie aus unseren einleitenden Betrachtungen hervorgeht, das Problem an sich nur eine beschränkte Messungsgenauigkeit zuläßt, so daß es geraten scheint, die Sammlung eines größeren, über recht weite Gebiete ausgedehnten Beobachtungsmaterials abzuwarten.

Wir beschränken uns daher auf die bisher mitgeteilten, aus der geophysikalischen Lösung des Problems unmittelbar ermittelten Schlüsse. Wir müssen jetzt aber noch versuchen, die geologischen Folgerungen aus dieser Lösung zu ziehen und die Frage nach dem „Wann“ und „Wie“ der Entstehung des Tals unter Berücksichtigung sämtlicher bisher gemachten Beobachtungen zu beantworten suchen.

Zu diesem Zweck vergegenwärtigen wir uns, daß wir uns in einem Gebiet befinden, daß zunächst in der Carbonzeit sehr erheblichen Bewegungen ausgesetzt war, nachdem es wahrscheinlich auch sehr viel früher schon einmal durch Vulkanismus und Gebirgsbildung durchgearbeitet worden war, worüber wir aber im Einzelnen noch keine Kenntnis besitzen. Dieses Gebiet kam in der nun folgenden Permzeit zur Ruhe und wurde schließlich mehr oder weniger eingeebnet, um in den darauf folgenden Perioden bis einschließlich der Jurazeit als Ablagerungsboden der verschiedenen Sedimente zu dienen. Während der Kreidezeit klafft eine Lücke; wir können annehmen, daß hier etwa das Gebiet sich aus den Meeresfluten langsam wieder erhob und durch Abtragung seine Sedimentdecke auf weite Strecken hin wieder verloren hat. Wir wissen, daß diese Hebung nicht gleichmäßig erfolgte, daß vielmehr im Tertiär nicht unbeträchtliche tektonische Bewegungen stattgefunden haben müssen, und wahrscheinlich im Zusammenhang damit auch der Vulkanismus auflebte. Denn in diese Zeit etwa muß die Absinkung des Rheintalgrabens und die vulkanische Tätigkeit des Kaiserstuhls fallen. Ganz können diese Bewegungen bei Beginn des Diluviums nicht aufgehört haben — spüren wir sie ja jetzt noch an gelegentlichen Erdbeben. In der Diluvialzeit tritt nun auch die Wirkung des Eises als geologischer Faktor mit hinzu, die wir bis dahin für unser Gebiet noch nicht beobachtet haben.

Wie weit die Vereisung gegangen ist, bleibt vorerst eine nicht ganz geklärte Frage; ebenso liegen auch über die Gliederung des Diluviums selbst mehrere Anschauungen vor, die sich noch nicht gegenseitig haben überwinden können.

Wir wollen die von W. DEECKE für unser Gebiet gegebene Einteilung beibehalten und das Diluvium in altes, unteres und

oberes gliedern, ohne auf die weitere Unterteilung in Deckenschotter und Hoch- bzw. Niederterrasse weiter einzugehen. Die Deckenschotter würden damit in das alte Diluvium fallen; die Hauptvereisung, Hochterrasse, eventuell Mittelterrasse und der ältere Löß in das untere und die Niederterrasse mit dem jüngeren Löß in das obere. Wir werden sehen, daß wir mit dieser Einteilung sehr gut auskommen können.

Dies ist in ganz kurzen Zügen die geologische Geschichte des Gebiets. In diese ist jetzt die Geschichte des Tals einzufügen. Hierzu vergegenwärtigen wir uns, daß nach den Untersuchungen STRIGEL's¹⁾ bereits in der permischen Peneplain eine Andeutung einer flachen Mulde in der östlichen Verlängerung der Talachse erkennbar war und daß auch die Spaltensysteme, die in der geographischen Breite von Freiburg (48° N) ost-westlich und nordwest-südöstlich den ganzen Schwarzwald bis zum Bodensee hin durchziehen und die wir in ihrem mittleren Stück als Bonndorf-Lenzkircher Graben zu bezeichnen gewöhnt sind, vielleicht in damaliger Zeit in der ersten Anlage wenigstens angedeutet waren.

Außerdem haben wir zu beachten, daß der Bonndorf—Lenzkircher Graben in der Gegend von Zarten—Kirchzarten—Oberried von einer anderen Mulde gekreuzt wird. Diese ist die Muldenbildung von St. Peter—St. Märgen, die im allgemeinen variskisch streicht und bei Staufen etwa beginnend, sich zwischen Belchen und Schauinsland in nur geringer Breite hindurchzieht, um dann in abgesenkter, durch Erosion ziemlich stark veränderter Form bei Oberried und Kirchzarten das Dreisamtal zu queren und schließlich durch das Ibental, das hierdurch seine Form und Richtung erhält, wieder aufzusteigen und sich hier zu verbreitern.

Viel mehr als Mutmaßungen über die zeitliche Einordnung dieser beiden tektonischen Bewegungen haben wir nicht; ebenso wenig können wir bestimmte Angaben über die damalige Form und Tiefe des Tals machen. Es kann sich aber unter allen Umständen nur um eine wesentlich höher gelegene Mulde handeln. Diese Anlage dürfte dann in der folgenden langen Sedimentationsperiode bis zur Kreidezeit mehr und mehr von Sedimenten bedeckt worden sein, bis schließlich die Abtragung wieder alles bis auf geringe Reste entfernte, so daß wir im Tertiär ungefähr auf die alte permische Oberfläche zurückgekommen sein werden.

¹⁾ A. STRIGEL, Zur Paläogeographie des Schwarzwaldes. 1922.

Es gibt nun eigentlich nur zwei Möglichkeiten wie aus dieser Fläche das Tal herausmodelliert worden sein kann. Erstens wäre rein aus der Form der Felsschale auf Glazialerosion durch einen Gletscher zu schließen, der aus einem, dem heutigen Wassereinzugsgebiet ungefähr gleichenden Firnfeld her seine Eismassen bis etwa Freiburg — vielleicht sogar noch weiter — vorgeschoben haben müßte. Ein solcher Gletscher könnte schließlich in einem durch tektonische Bewegungen etwas gelockerten Gebiet eine Mulde von derartiger Breite, wie wir sie bei Zarten beobachten, ausgearbeitet haben. Die große Schwierigkeit, auf die diese Erklärung stoßen würde, wäre aber der daraus zu schließende klimatische Unterschied zwischen unserem Tal und dem benachbarten Elz- und Münstertal, bei denen eine derartige Vereisung durchaus nicht wahrscheinlich ist, von anderen, z. T. noch größeren Unstimmigkeiten ganz abzusehen, da die deutlich erkennbaren Glazialspuren im Dreisamtal schon bei Hinterzarten aufhören.

Es scheint uns daher viel einleuchtender, wenn wir das Tal als einen Graben auffassen, der seine charakteristische Form dadurch erhielt, daß in ungefährer Verlängerung der Sprünge, die den Bonndorfer Graben begrenzen, Verwerfungen eingetreten sind, die die ganze Scholle zwischen etwa Burg und Freiburg haben absinken lassen.

Auf das Vorhandensein dieser Klüfte deuten einmal die am Schloßberg auftretenden, O—W reichenden Ruschelzonen, sodann die gelegentlich von Erdbeben, besonders 1913¹⁾ beobachteten Störungen in der Linie Sternwaldeck-Waldsee. Wir sind ferner geneigt, aus der auffallend geringeren durchschnittlichen Höhe des Gebietes zwischen Glottertal, Eschbachtal und Nordrand des Dreisamtals gegenüber den umliegenden Gebieten (Kandel N und NO, Weißtannenhöhe im O und Schauinsland—Stübenwagen—Feldberg im S) eine Vertikalabsinkung des umschriebenen Gebietes zu vermuten, die natürlich ebenfalls eine Stütze für das Vorhandensein mindestens eines Bruches im Dreisamtal wäre.

Schließlich zeigt uns die oben skizzierte alte Tektonik des Gebiets, daß im östlichen Teil des Tals eine intensivere Zerklüftung infolge der Kreuzung zweier Mulden wahrscheinlich ist, auf die die auffallende Verbreiterung des Tals hier zurückzuführen wäre. Diese Kreuzung kann auch Querbrüche in der Scholle selbst verursacht

¹⁾ Vgl. R. LAIS, Die Wirkungen des Erdbebens vom 20. Juli 1913 in der Stadt Freiburg i. Br.

haben; im einzelnen können wir diese Frage aber nicht verfolgen; denn oberirdisch ist naturgemäß ohne genauere geologische Untersuchung keine Spur von solchen Brüchen wahrzunehmen, und die Gravitationsmessungen haben keine deutlichen Anhaltspunkte für ihr Vorhandensein geliefert, wie auch kaum zu erwarten war. Im Gegenteil zeigt die Felsschale im Ganzen eine recht flache, nahezu ebene Oberfläche, und es müßte Detailmessungen vorbehalten bleiben, in dieser Beziehung die Einzelheiten des gewonnenen Bildes noch schärfer herauszumodellieren, was aber wahrscheinlich die Zuhilfenahme anderer Methoden als der von uns angewandten erforderlich machen würde.

Jedenfalls haben wir die östliche Abgrenzung der Dreisamtalscholle zum größten Teil den Spalten der Mulde von St. Peter—St. Märgen zu verdanken. Inwieweit innerhalb der Scholle selbst noch Brüche in Richtung dieser Spalten aufgebrochen sind, müssen wir dahingestellt lassen. Soviel ist sicher, daß die Scholle nicht ganz in der Lage, in der wir sie augenblicklich sehen, abgesunken sein kann. Vielmehr hat es den Anschein, als ob die Scholle viel weniger stark geneigt war, als jetzt, da sonst eine viel stärkere Erosion, als wir sie auf der fast flachen Felsschale finden, erkennbar sein müßte.

Wir möchten eine daher ursprünglich fast horizontale Lage der Fläche annehmen, auf der bei sehr schwachem Gefälle der Fluß vielleicht mäandriert hat, worauf Einzelheiten in den Gravitationsmessungen hindeuten. Diese Periode dürfte ungefähr gleichzeitig mit dem Absinken des Rheintalgrabens selbst anzusetzen sein; erst etwas später erhält der letztere einen Vorsprung in der Abwärtsbewegung um etwa 50 m. In diese Zeit wäre die Auswaschung der Rinne in der westlichen Hälfte des Tals zu verlegen?

In dieser Weise erklärt sich die Form der Felsschale ziemlich einfach und zwanglos. In der nun folgenden Periode muß aus irgendwelchen Gründen der Abfluß nach dem Rhein, wahrscheinlich durch Wiedererhebung des Rheintals oder durch rascheres Absinken des Westrandes unserer Scholle, verstopft oder erschwert worden sein. Damit begann die Aufschotterung des Talbodens. Seltsam ist dabei, daß diese Aufschotterung — abgesehen von der Rinne — fast durchweg von Freiburg bis Kirchzarten hinauf ungefähr die gleiche Mächtigkeit hat, wie aus den Messungen hervorgeht. Wir wollen für die Erscheinung noch keine Erklärung zu geben versuchen, bevor nicht noch mehr Täler in ähnlicher Weise untersucht

worden sind, wodurch wahrscheinlich etwas Licht auch in die Frage des Klimas und seiner Änderung in damaliger Zeit gebracht werden dürfte. Es ist aber auch möglich, daß bei der flachen Lage der Scholle die Aufschotterung im östlichen Teil des Tals bereits einsetzte, als weiter unten noch die Abtragung vorherrschte. Die dabei wahrscheinlich aufgebauten Schuttkegel sind durch die Bewegungen der folgenden Periode über den westlichen Teil des Tals und in die Rheinebene hinaus verschleppt worden, wie wir das bei vielen Tälern des Schwarzwaldes, z. B. im Elztal, im Münstertal, und im Kinzigtal finden.

Nach Beendigung der Aufschotterung setzte dann eine dritte Periode ein, die hauptsächlich durch ein Aufsteigen des Schwarzwaldes und zugleich des Ostrandes unserer Scholle gegenüber dem Rheintal gekennzeichnet ist. Damit gelangt der Talboden in seine heutige Lage; zugleich wird eine langsame Verringerung der Wasserführung des Flusses eingetreten sein, so daß in dieser Periode zwar zunächst die Fluten noch den Schuttkegel vor der Mündung des Dreisamtales in das noch weiter absinkende Rheintal hinausbauen konnten, dann aber nicht mehr genügten, um trotz des stärker werdenden Gefälles eine erhebliche Erosion zustande zu bringen. Noch jetzt scheint diese Bewegung nicht ganz abgeschlossen zu sein, da wir in der Gegend von Himmelreich ein stärkeres Einschneiden des Flusses in das Kiesbett als weiter unten bei Freiburg und das Auftreten von Schwellen, wie am Sandfang und am Schwabentor, die sonst schon längst durchsägt wären, beobachten.

Diese drei Phasen der Talbildung, wie wir sie oben kurz umrissen haben, lassen sich ziemlich gut den oben angegebenen drei Stufen des Diluviums zuordnen, so daß wir die Entstehung der Felsschale und die Auswaschung der Rinne darin in das ältere Diluvium, die Aufschotterung und den Übergang in den derzeitigen Zustand in das untere und obere Diluvium verlegen können.

Fassen wir nun noch die Ergebnisse unserer Betrachtungen kurz zusammen, so finden wir:

Die Erdschweremessungen mit der Eötvös'schen Drehwage sind nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ auswertbar und ermöglichen bei bekannten Dichteunterschieden die Feststellung von Form und Größe der vermuteten Masse.

Solche Messungen können sehr gut zur Klärung von Fragen

der Lagerung und Tektonik in solchen Gebieten Anwendung finden, für die andere Untersuchungsmethoden unbrauchbar sind.

Wenden wir diese Messungsmethode auf das Tal der Dreisam bei Freiburg i. Br. an, so zeigt sich, daß die Felsschale unter diesem Tal nur in sehr geringer Mächtigkeit, nämlich durchschnittlich etwa 20 m hoch, von Schotter bedeckt ist;

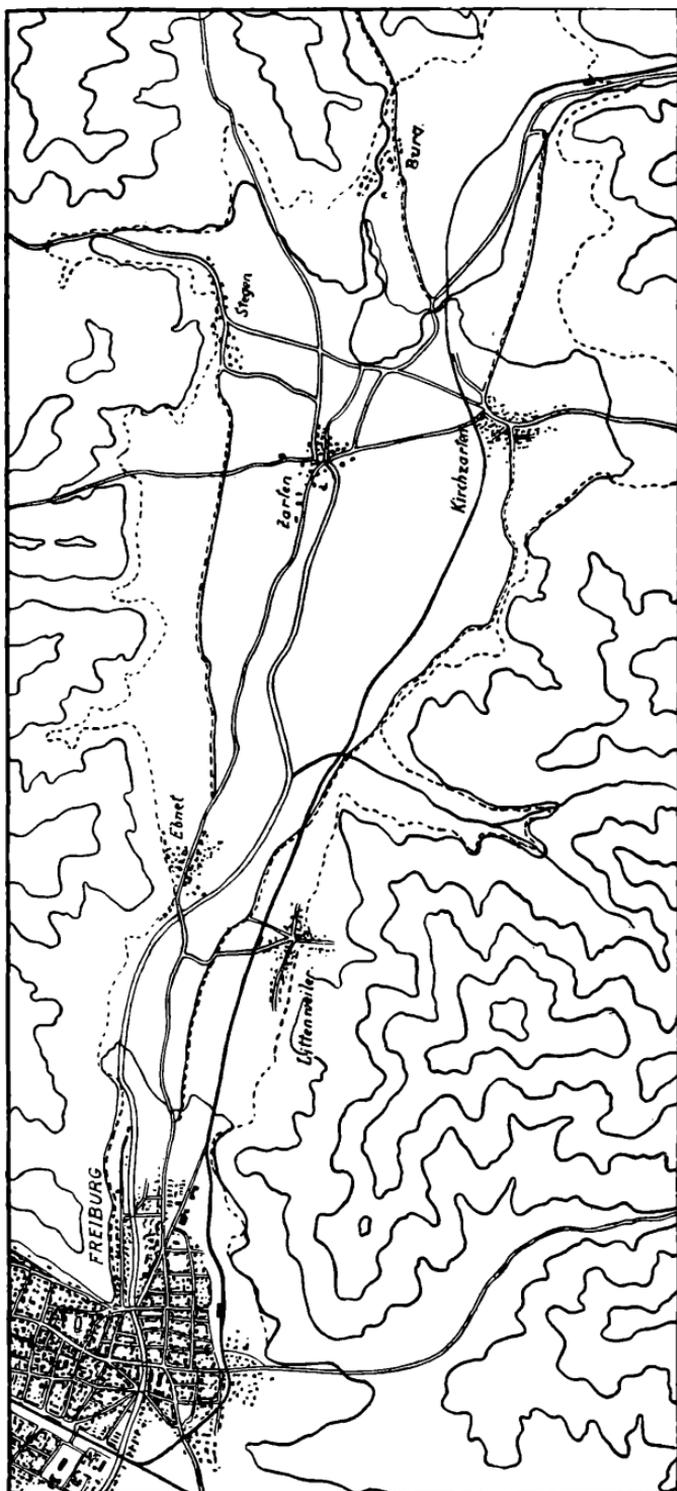
daß ferner in diese Felsschale eine ebenfalls verhältnismäßig flache Rinne von maximal etwa 50 m Tiefe eingeschnitten ist, die im westlichen Teil des Tals ziemlich nahe seiner Nordseite verläuft, um sich dann etwa bei Zarten zu verlieren;

daß schließlich das Vorhandensein von eigentlichen Felsbarren oder Riegeln, die unter dem Schotter quer durch das Tal hindurch ziehen könnten, auf Grund der Messungsergebnisse unwahrscheinlich ist.

Aus diesen Ergebnissen folgern wir geologisch, daß das Tal entweder glazial oder fluvioglazial entstanden sein könnte, was aber aus manchen Gründen weniger wahrscheinlich ist;

daß vielmehr Entstehung als Grabenbruch in Verlängerung des Bonndorfer Spaltensystems angenommen werden kann unter Mitwirkung der Spalten von St. Peter—St. Märgen, womit die sonstigen Beobachtungen sich am besten vereinbaren lassen;

daß schließlich die Bildung des Tals zunächst in der Permzeit angedeutet wurde, um im Diluvium vollendet zu werden.

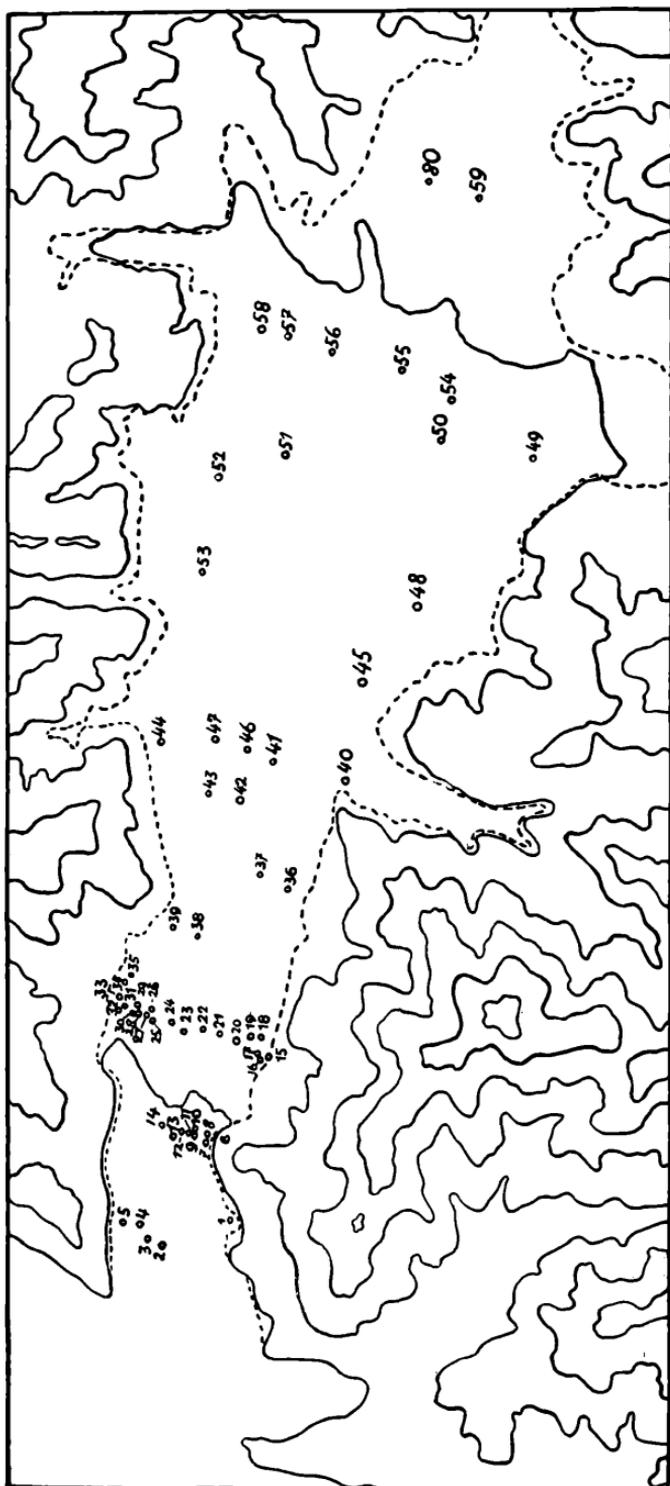


Tafel I. Übersichtskarte des Dreisamltals.

Mafsstab 1 : 70000.

5 km

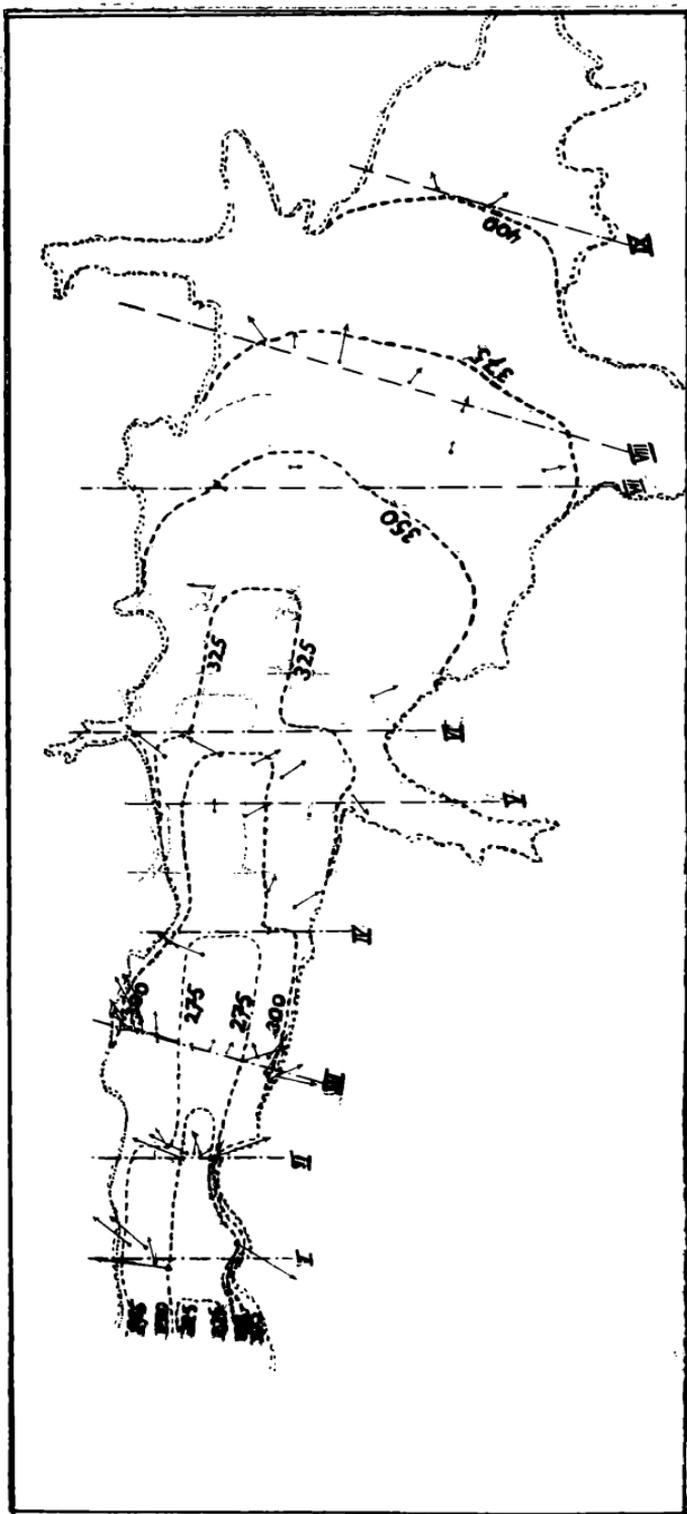
Höhensichtlinien im Abstand 100 m, die gestrichelte Linie ist die Grenze zwischen Gehänge und Talsohle.



Tafel 2. Lageplan der Stationen 1 bis 60.

1 70000.

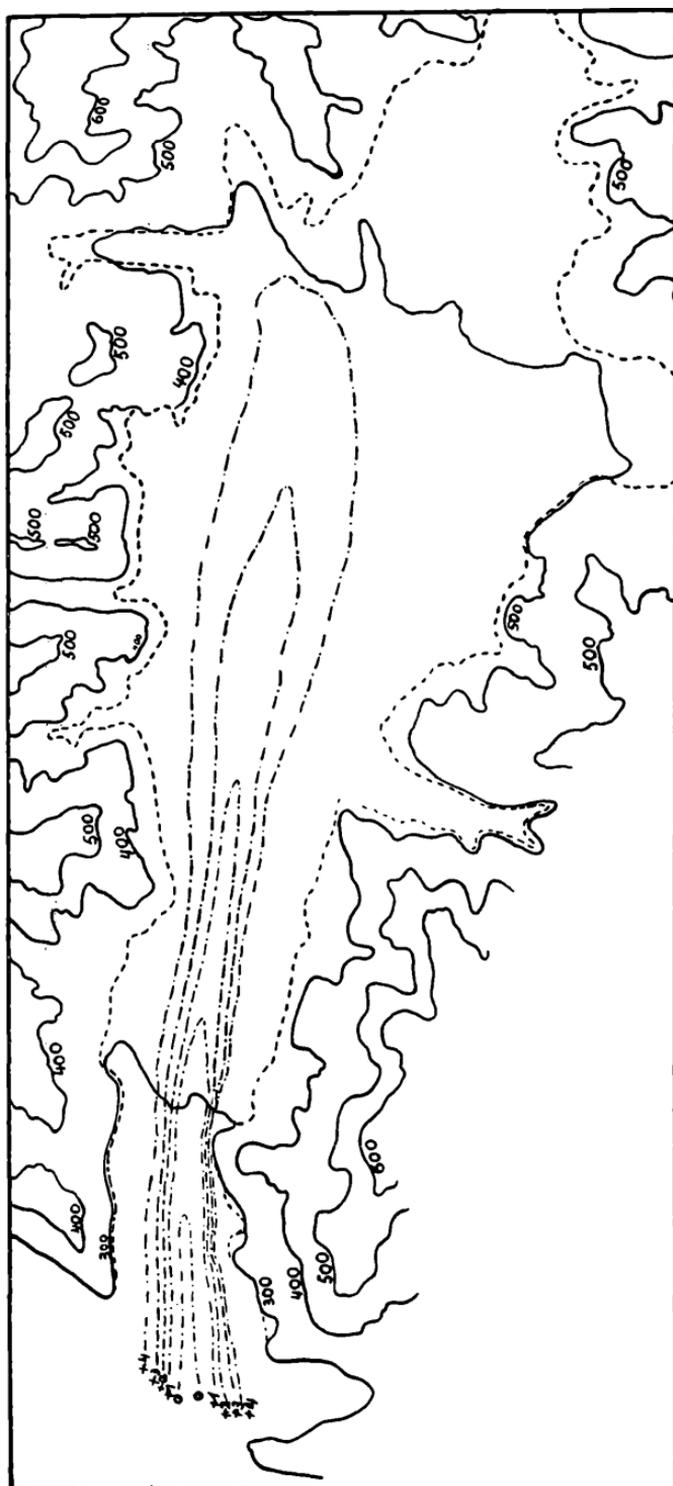
(Die Station 60 ist in der Karte irrtümlich mit 80 beziffert.)



Trennungslinie zwischen Göltingen und Talschle.

--- Aus den Gravitationsmessungen ermittelte Isobathen der Felschale.

..... I bis IX. Lage der Querprofile I bis IX (vgl. Tafel 5).
Abstand 25 m
Maßstab der Gradienten $\frac{1}{m} = 7,0 \text{ CGS} \cdot 10^{-9}$



Tafel 4. Isogammenkarte.

1 70000.

— · — · — Isogammen im Abstand 1·10⁻¹ CGS.

— — — — — Höhengschichtlinien im Abstand 100 m.

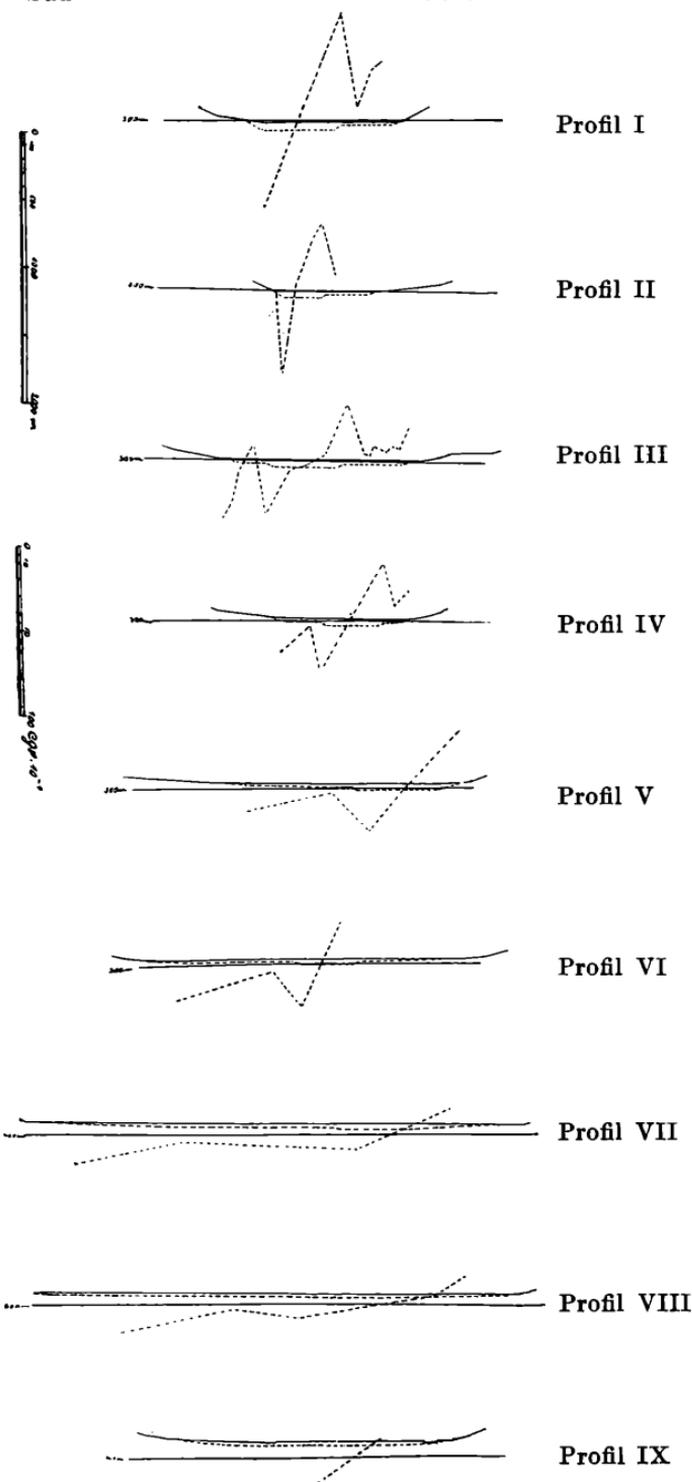
— — — — — Trennungslinie zwischen Gebänge und Talsohle.

Maßstab der Höhen und Längen

Maßstab der Gradienten

Süd ←

→ Nord



Tafel 5. Profiltafel.

Die in den Profilen ausgezogene 300 m-Linie ist zugleich Nulllinie der gestrichelt gezeichneten Gradientenkurven. Für diese sind die Nordkomponenten der Gradienten ihrer Größe nach nach oben, die Südkomponenten nach unten abgetragen. Vgl. Text Seite 21.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1925

Band/Volume: [25](#)

Autor(en)/Author(s): Holst H.

Artikel/Article: [Untersuchungen über die Form des Felsuntergrundes des Dreisamtales zwischen Freiburg i. Br. und Kirchzarten auf Grund von Gravitationsmessungen mit der Drehwage. 75-109](#)