

Terrassen und Thalstufen der Schweiz. ¹⁾

Von

Dr. Albert Bodmer.

Entgegen der theilweise jetzt noch bestehenden Annahme, dass die Thäler ein directes Produkt der Gebirgsfaltung, also einerseits Wellenthäler oder Längsrisse, andererseits Querspalten seien, erklären die Erosionsgeologen, es seien Verwitterung und fließendes Wasser bei der Thalbildung die Hauptfactoren gewesen. Sie wurden durch genaues Studium des Gebirgsbaues und der gegenwärtigen Wasserwirkungen zu diesem Schluss geführt.

Neuerdings hat nun diese Erklärungsweise der Thalbildung wieder eine glänzende Bestätigung erhalten, durch die genauere Untersuchung der Terrassen und Thalstufen, die in jedem grössern Alpenthal oft in Mehrzahl auftreten.

Ein kleiner Theil sämmtlicher Terrassen lässt sich entstanden denken durch Verwitterung weicher Schichten über harten, und diese fallen bei unserer Untersuchung ausser Betracht. Weitaus die meisten derselben müssen einer andern Ursache, nämlich der Flusserosion zugeschrieben werden.

Angenommen, ein Thal befinde sich im mittlern Theil im II. Stadium; der Fluss hat dort nicht mehr genügendes Gefälle, sein Bett tiefer zu legen, dagegen verbreitert er

¹⁾ Vorliegende Abhandlung ist ein Auszug aus meiner gleichnamigen Inaugural-Dissertation, auf welche desshalb hier ein für allemal verwiesen wird.

durch Serpentinbildung den Thalboden. Wird nun durch irgend eine Ursache das Gefälle vergrössert, so kann der Fluss dadurch wieder genügend Kraft erhalten, um sich neuerdings in den Thalboden einzusägen. Sind Stosskraft des Flusses und Widerstand der Unterlage wieder im Gleichgewicht, so hört die verticale Erosion auf, und der Fluss beginnt horizontale Schwankungen, wodurch der frühere Thalboden, jetzt zur Terrasse geworden, immer mehr zerstört wird. Aus den Resten lässt sich aber immer noch der einstige Zusammenhang erkennen, da sie annähernd gleiches Niveau haben. Wenn die Terrassen unserer Alpenthäler einen gleichen Ursprung haben, so wird sich das Gleiche bei ihnen auch zeigen, sie müssen Systeme annähernd gleicher Höhe bilden. Wie aus folgendem hervorgeht, wird dies durch die Wirklichkeit vollständig bestätigt.

Schon Rütimeyer fand, dass sich Terrassen von ca. 1500 Meter Höhe ü. M. durch das ganze Reussthal verfolgen lassen, dass dieselben mit der Sohle des Urserenthales übereinstimmen und in die Sohlen mehrerer Seitenthäler übergehen, welche mit steilem Absturz ins Hauptthal münden. Er schloss aus dieser auffallenden Thatsache, jene Terrassen und Thalsohlen haben einst mit einander verbunden einen Thalboden gebildet. Prof. Albert Heim, welcher das ganze Reussgebiet genau untersuchte, konnte ausser dem ebengenannten noch mehrere Thalböden in ihren Resten durch das Reussthal und seine Nebenthäler verfolgen. ¹⁾ Auch in den anstossenden Theilen des Linth-

²⁾ Siehe die Karte zu A. Heim: „Ueber die Erosion im Reussgebiet“, Jahrb. des Schweiz. Alpen-Club, 1879, in welcher die Reste eines Thalbodens je durch die gleiche Farbe bezeichnet sind.

und des Rheingebietes zeigte sich die gleiche Erscheinung: die Terrassen sind nicht regellos über die Thalwände zerstreut, sondern sie lassen sich in bestimmte Systeme einreihen.

Da wir in diesen Gebieten jeweils mehrere Systeme übereinander finden, müssen offenbar auch zu verschiedenen Zeiten Gefällsvermehrungen stattgefunden haben. Die Ursache der mehrmaligen Gefällssteigerung und damit verbundenen Tieferlegung des Flusses kann wohl nichts anderes als die periodische Hebung der Alpen gewesen sein. Durch dieselbe kamen die Terrassen nach und nach in die Höhen hinauf, in denen wir sie gegenwärtig sehen.

Schon die Resultate der Untersuchung des Reussgebietes liessen erwarten, man habe es hier mit einer allgemeinen Erscheinung zu thun. Um hierüber volle Gewissheit zu erhalten, stellte ich aus allen Flussgebieten der Alpen die Terrassen und Thalstufen zusammen. Als Hilfsmittel dazu benutzte ich die Curvenkarte der Schweiz, das Beste, was bis jetzt in Kartographie geleistet worden. Aus der Curvendistanz erkennt man in denselben die Terrassen sehr gut.

Im Linthgebiet lassen sich ausser der heutigen Thalsohle 6 frühere Thalböden mit Sicherheit aus ihren Resten erkennen. Sogar zu zwei Systemen von 2600 M. und 2800—3000 M. sind noch Andeutungen vorhanden.

Folgendes sind die deutlichen Terrassensysteme, ausgedrückt durch ihre Höhe über Meer:

820—500	1700—1400
1000—620	2000—1800
1300—900	2450—2300

Die grössere Zahl bedeutet stets das Niveau im Thalhintergrunde, die kleinere dasjenige im äussern Thaltheil.

Schon daraus ersehen wir, dass die Terrassensysteme oder frühern Thalböden thalauswärts ein gewisses Gefälle haben. Noch auffälliger wird dies, wenn man die Terrassen in Zonen annähernd gleicher Entfernung vom Thalausgang in eine Höhentabelle zusammenstellt, oder wenn man die Terrassen ihrer natürlichen Höhe und Entfernung entsprechend in die Zeichnung des Flussprofiles einträgt (siehe Fig. 1.). Es lassen sich dann bestimmte Terrassen je mit einer Thalstufe verbinden und jede so erhaltene Verbindungslinie ist das Profil eines früheren Thalbodens. Ganz dasselbe lässt sich für die Seitenthäler wiederholen; als Beispiel gebe ich das Profil des Klönthales (Fig. 2.), aus welchem wir zudem noch ersehen, dass die Terrassensysteme des Nebenthales denjenigen des Hauptthales vollkommen entsprechen.

Das Gefälle der Systeme lässt sich ziemlich genau berechnen, indem man die Höhendifferenz einer Thalstufe im obern Theil des Thales und einer zugehörigen Terrasse im untern Theil desselben durch die Entfernung dividirt. Man erhält so für diese frühern Thalböden ein Gefälle von 7—9‰, während der jetzige Thalboden von Linththal bis Glarus 14‰ Gefälle hat (von Glarus abwärts sind es nur 2,5‰, weil dort das Ablagerungsgebiet beginnt); dieser beträchtliche Unterschied rührt vielleicht von einer stärkern letzten Hebung der Randzone her.

Im Linthgebiet treten sehr verschieden resistente Gesteine auf, wie krystallinische Schiefer, Verrucano, Hochgebirgskalk, eocene Kalke und Thonschiefer und doch ist durchaus kein Einfluss derselben in den verschiedenen Theilen eines Systemes erkennbar; der Fluss erodirte weiches und hartes Gestein gleich stark. Dasselbe Gesetz findet sich auch in den übrigen Gebieten bestätigt.

Im Aargebiet, umfassend junge Aare, Lütshine, Kander und Simme, finden sich folgende Terrassensysteme:

850— 550	1400—1100
1050— 770	1700—1450
1200—1000	1900—1650
2250—2000	

Das Haslethal ist ausgezeichnet durch gut erhaltene Thalstufen. Profil Fig. 3. zeigt uns sehr frappant, dass die Verbindungsebenen der Terrassensysteme jedenfalls übereinstimmend sind mit frühern Thalböden, denn sie bilden im Gefälle die directe Fortsetzung der Thalstufen, welche ihrerseits ja nur die obern, noch erhaltenen Theile der Thalböden sind. Dem successiven und relativ raschen Einschneiden des Hauptflusses vermochten die kleinern Nebenbäche nicht zu folgen; daher kommt es, dass kleinere Seitenthäler mit sanftem Thalboden oft hoch über der Sohle des Hauptthales in letzteres münden, wie z. B. Fig. 4 sehr schön zeigt, und demgemäss ihr Wasser dem Hauptfluss auf steiler Bahn zustürzen muss. Diesem Umstand, sowie den bedeutendern Thalstufen überhaupt, haben wir eine besondere Zierde der Alpen, die zahlreichen Wasserfälle, zu verdanken.

Die Untersuchung des grossen Rhonegebietes ergab ein ganz überraschendes Resultat; bei der Vergleichung der Terrassensysteme der verschiedenen Zweiggebiete, Dranse, Borgne, Navisonce, Visp etc. mit denjenigen des Hauptthales stellte es sich heraus, dass für sämtliche Terrassensysteme eines Zweiggebietes entsprechende mit geringen Höhenunterschieden auch in den andern sich vorfinden und dass die Systeme des Rhonethales im Niveau die Zusammenfassung derjenigen der Seitenthäler bilden. Die Terrassensysteme des Rhonethales, gebildet von zum

Theil ganz ausgezeichneten Terrassen, mögen hier angeführt sein:

900— 650	2100—1850
1350—1000	2250—2000
1500—1250	2500—2250
1750—1450	2700—2500

Das Gefälle dieser Systeme ist im Mittel 250 M. auf 100 Km. oder 2,5‰, also etwa 3—4 mal kleiner als bei den Systemen des Linthgebietes. Es hängt dieser Umstand aufs Engste zusammen mit der Grösse der Gebiete resp. mit dem Wasserreichthum der Flüsse. Während die Linth von Linththal bis Glarus 14‰ Gefälle hat, zeigt die Rhone bei ca. 7 mal grösserem Gebiet von Brieg bis St. Maurice ein 5—6 mal kleineres Gefälle, nämlich 2,5—3‰.

Ganz analog wie das Rhonegebiet verhält sich auch die Westhälfte des Rheingebietes, umfassend Vorder- und Hinterrhein. Die Osthälfte des jetzigen Rheingebietes mit Albula, Plessur und Landquart weicht in den obern Terrassensystemen ziemlich von der Westhälfte ab, wie aus folgender Zusammenstellung der Systeme ersichtlich:

Westhälfte	Osthälfte.
580— 480	580— 480
1000— 650	625— 600
1000— 800	920— 860
1150— 950	1160—1070
1450—1200	1400—1250
1650—1375	1650—1450
2000—1650	1850—1700
2350—2000	2050—1920
2500—2350	2450—2250

Dieser Unterschied konnte nur entstehen, wenn zur Bildungszeit der ältern Thalböden die beiden Gebiete von einander unabhängig waren; dass dies wirklich der Fall war, hat Prof. A. Heim schon aus den eigenthümlichen Flussläufen in Graubünden gefolgert ¹⁾. Ein westlicher Rhein floss als directe Fortsetzung des Hinterrheins durch das Thal der Tamina und ihm parallel ein östlicher Rhein, als Fortsetzung des Oberhalbsteinerrheines, über die Lenzerheide ebenfalls nordwärts; eine gerade Wasserscheide erstreckte sich also vom Piz-Platta bis zum Calanda. So standen die Dinge wahrscheinlich bis zur Bildungszeit der Thalböden 1650 — 1400, dann aber wurde die Wasserscheide ein erstes Mal durchbrochen zwischen Calanda und Faulenberg und es erfolgte die Ablenkung von Vorder- und Hinterrhein in den östlichen Rhein. Nicht lange nachher durchbrach ein Seitenbach des Hinterrheins die Wasserscheide zwischen Faulenberg und Piz Curver und lenkte Albula und Oberhalbsteinerrhein ab, so dass diese jetzt den grossen Umweg Thusis-Reichenau machen müssen, um bei Chur wieder in die frühere Bahn einzutreten. In dem Umstand, dass die Systeme des Taminathales genau die Fortsetzung derjenigen des westlichen Rheingebietes, und diejenigen der Lenzerheide die Fortsetzung der Thalböden im Oberhalbstein bilden, liegt eine weitere Bestätigung für diese zwei frühern Rheinläufe. Aehnliches finden wir übrigens auch in andern Flussgebieten; so schliessen sich die Terrassensysteme des Lungernthales denjenigen des Haslethales an, was auf einen frühern Abfluss der Aare über den Brünigpass hindeutet.

¹⁾ Mechanismus d. Gebirgsbildg. Bd. I, p. 320 u. f.

Im Tessingebiet fand ich 8 Terrassensysteme: anstatt dieselben aufzuzählen, verweise ich auf die Fig. 7, 8 und 9, welche einige Repräsentanten derselben, sowohl Terrassen als Thalstufen, möglichst naturgetreu wiedergeben.

Das Inngebiet lässt, soweit es in der Schweiz liegt, ebenfalls 8 Terrassensysteme erkennen und zwar ist das Oberengadin ausgezeichnet durch zahlreiche, gut erhaltene Reste der obern Thalböden, während im Unterengadin die Terrassen der untern Systeme bemerkenswerth sind. Im Hauptthal des Inn fehlen scheinbar zu den obersten Terrassensystemen die Thalstufen, wie denn auch dem Oberengadin ein seiner Ausdehnung entsprechendes Sammelgebiet ganz abgeht: der Thalboden fällt bei der Maloja seiner ganzen Breite nach steil zum Val Bregaglia ab. Prof. A. Heim gibt uns über diese eigenthümlichen Verhältnisse eine treffliche Schilderung und Erklärung in seiner Abhandlung »Die Seen des Oberengadin«, (Jahrb. d. Schweiz. Alpen-Club 1880). Als Illustration hiezu gebe ich in Fig. 10 die vereinigten Profile des Oberengadin, der Maira und Albigna. Es erforderte nur eine Drehung von je 40° , um den Bach des Val Marozzo und die Albigna in gleiche Ebene zu bringen, wie Oberengadin und V. Bregaglia. Aus der Zeichnung ist sehr deutlich zu sehen, dass die Terrassen und Thalstufen des Val Marozzo und der Albigna den betreffenden Systemen des Inngebietes angehören, während V. Bregaglia ganz andere Systeme aufweist.

Die besprochenen Gebiete liegen sämmtlich in den Alpen d. h. in stark dislocirtem Gestein; untersuchen wir nun die Thäler des Molasselandes der Schweiz, wo die Schichten grösstentheils wenig oder gar nicht dislocirt sind,

so finden wir dort ebenfalls Terrassen und Thalstufen und zwar stellenweise in grosser Zahl und ausgezeichneter Erhaltung. Als in dieser Hinsicht besonders bemerkenswerth hebe ich hervor die Umgegend von Bern und Schaffhausen und das rechte Zürichseeufer; die Fig. 11, 12 und 13 geben dafür Beispiele. Die Terrassenabstürze sind relativ unbedeutend und musste ich deshalb, um die Systeme noch deutlicher auseinander zu halten, für die Höhen einen grössern Massstab nehmen, als für die Längen.

Im ganzen Juragebiet findet sich deutliche Terrassirung der Thäler (natürlich abgesehen von Verwitterungsterrassen) nur an den Stellen, wo er von Alpenflüssen durchbrochen wird, so bei Brugg von Aare und Reuss und unterhalb Schaffhausen vom Rhein. Bei Brugg sind an Stelle der Flussdurchbrüche die steil südfallenden Schichten einer etwas gegen Nord überliegenden Falte horizontal abgehobelt; sehr deutlich sieht man dies z. B. bei Schinznach, wo im Terrassenabsturz ein Steinbruch angelegt ist (Fig. 6). In den Gebieten der Birs, des Doubs u. s. w., die ganz jurassisch sind, finden sich keine Terrassensysteme. Diese gegen die Allgemeinheit der Terrassentheorie sprechende Thatsache hat nach Prof. A. Heim ihren Grund in der Geschiebelosigkeit der Juragewässer; die Niederschläge versiegen in dem zerklüfteten Kalk und treten im Thal als klare Quellen zu Tage. Ein weiterer Grund, warum die Erosion im Jura so viel kleiner ist, als in den Alpen, liegt in dem einfachen Bau und in den geringen Dimensionen desselben. Die Jurathäler sind zum Theil reine Muldenthäler, in welchen die Erosion nur geringen Angriff hat; ferner ist die Niederschlagsmenge in diesem niedern Gebirge verhältnissmässig kleiner als in

den hohen Alpen und das Wasser kann sich wegen der geringen Breite nicht zu starken Flüssen ansammeln.

Das allgemeine Auftreten der Terrassensysteme in den Schweizeralpen sowie auch im Hügellande sagt uns, dass bei der Bildung aller Thäler dieses Gebietes die gleichen Kräfte wirksam waren, nämlich *Flusserosion*, welche successive die Thalböden schuf und nachher theilweise wieder zerstörte, und *Verwitterung*, welche die Abschrägung der Gehänge auf die Normalböschung der Gesteine bewirkte.

Die mehrmalige Abwechslung der beiden Thalbildungsstadien I. Einschneiden, II. Verbreiterung der Thalsole, hat ihren Grund in periodischer Veränderung des Gefälles, und diese war sehr wahrscheinlich die Folge ungleicher Hebungs- (zeitweise auch Senkungs-) geschwindigkeit in der Centralzone und in den Randzonen der Alpen, sowie im anstossenden Hügellande. Den Zusammenhang von Hebung mit Terrassenbildung sieht man sehr schön in Skandinavien, wo alte Strandlinien, die Zeugen periodischer Hebung des Landes, mit den Terrassensystemen der Thäler übereinstimmen. Flussgebiete, die auf der gleichen Seite der Centralzone liegen, müssen ziemlich die gleichen Schwankungen durchgemacht haben, und die Wirkung dieser Schwankungen war in allen dieselbe, sofern ihre Gewässer die gleiche Fliessrichtung haben. So finden wir zwischen Linth-, Reuss- und Aargebiet, bei denen vorige Bedingungen erfüllt sind, eine grosse Uebereinstimmung in den Terrassensystemen.

Die Alpenhebung hat bis zur Ausbildung der jüngsten Thalböden fortgedauert. Dann trat eine Hebung des Hügellandes (oder Senkung der Alpen) ein und staute die Gebirgsflüsse zu Seen. Seither scheint wieder eine Senkung

eingetreten zu sein, wenigstens haben sich Limmat, Reuss, Aare und Rhein neuerdings eingeschnitten und zwar die Limmat bis Baden, die Reuss bis Bremgarten, die Aare bis oberhalb Brugg und der Rhein bis zum Rheinfall. Mit der Alpenhebung ist nicht etwa die Faltung zu verwechseln; diese muss schon sehr lange zur Ruhe gekommen sein, sonst wäre die Ordnung in den obern Terrassensystemen bedeutend gestört, wir würden die Systeme überhaupt nicht mehr erkennen.

Die Hauptresultate dieser Untersuchung auf Terrassen und Thalstufen lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen:

1. *Thalstufen und Terrassen kommen in allen Alpenthälern in ausgezeichneter Ausbildung vor.*
2. *In allen bilden sie nach ihrer Höhe eine Reihe verschiedener, übereinander liegender Systeme.*
3. *Die Thalstufen und Terrassen des gleichen Systems müssen wir als Reste eines frühern Thalbodens auffassen.*
4. *Die alten Thalböden sind sehr hüfzig, sogar gewöhnlich, auf beiden Thalseiten in deutlichen Resten erhalten.*
5. *Die Thalhohlräume, welche je zwei Systeme trennen, bezeichnen Perioden rascherer Hebung der Alpen.*
6. *Jedes Terrassensystem zeigt thalauswärts ein bestimmtes Gefälle; ähnlich demjenigen jetziger unterer Thalsohlen.*
7. *In kleinen Flussgebieten ist das Gefälle stärker als in grossen.*
8. *In Quer- und Längsthälern, Haupt- und Nebenthälern desselben Flussgebietes finden sich ganz entsprechende Terrassen und Thalstufen.*

9. *In verschiedenen Hauptflussgebieten sind die Terrassensysteme in Zahl und Niveau etwas verschieden.*
10. *Die Systeme der ähnlich gelegenen und fliessenden Ströme, wie Aare, Reuss und Linth sind sehr ähnlich.*
11. *Thalstufen und Terrassen wiederholen sich im Hügellande in ausgezeichneter Weise.*
12. *Die Art des Gesteins hatte keinen höhebestimmenden Einfluss auf die Terrassensysteme.*
13. *Je resistenzfähiger der Fels, desto deutlicher sind die Terrassen ausgebildet und erhalten.*
14. *Die Fälle, wo die Terrassen unklar sind oder nicht stimmen, lassen sich meistens durch Verwitterung, Abrutschungen, Schuttanhäufungen etc. erklären.*
15. *Die frühere Zusammengehörigkeit jetzt getrennter Thalstrecken lässt sich an Gleichheit der Richtung und an Uebereinstimmung der Terrassensysteme erkennen.*

Die aufgefundenen Erscheinungen der Terrassen und Thalstufen lassen sich durch keine andere Thalbildungstheorie als durch die Erosionstheorie erklären. Spalten mögen auch in den Alpen hie und da richtungsbestimmend eingewirkt haben, aber der ganze Theil der Erdrinde, in welchen sie hinabreichten, ist längst denudirt. Die jetzigen Thalgehänge und Thaltiefen sind Resultate der Erosion.

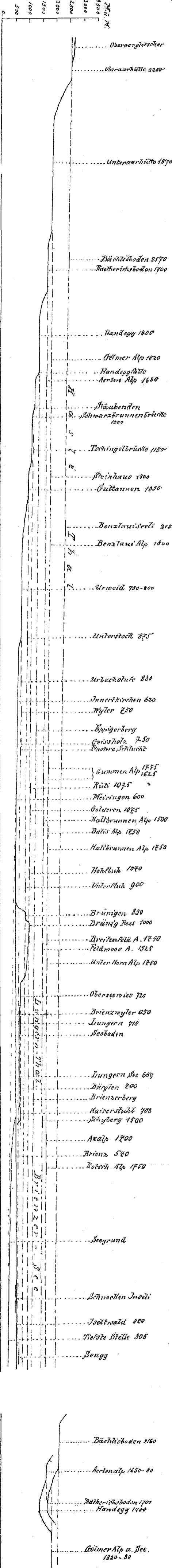


Fig. 1. Längsprofil des Linth-Thales vom Sandfirn bis Glarus. 1 : 100,000.

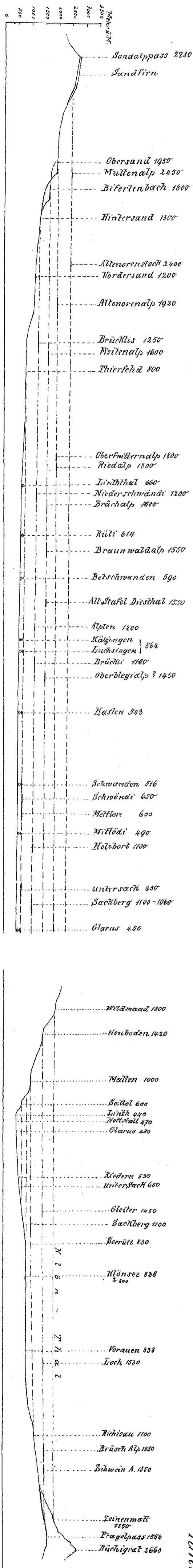


Fig. 2. Querprofil bei Mettwan u. Längsprofil des Rhod-Thales. 1 : 100,000.

Fig. 3. Längsprofil des Hasle-Thales u. des Lungern-Thales. 1 : 100,000.

Querprofile durchs Haslethal. 1 : 100,000.

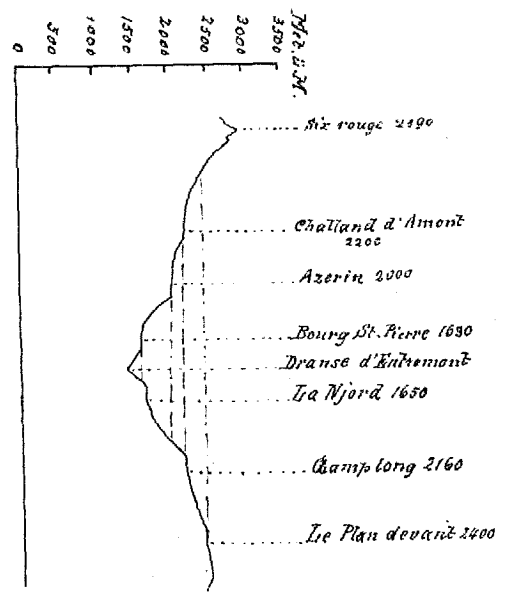


Fig. 5. Querschnitt durch Tal d'Intrémont. 1 : 100,000

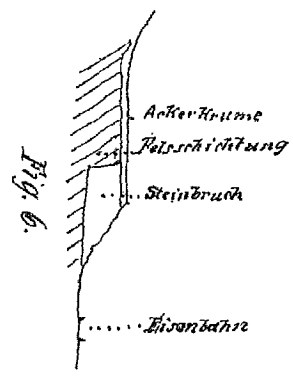


Fig. 6. Terrasse bei Bad St. Leonhard. 1 : 4000

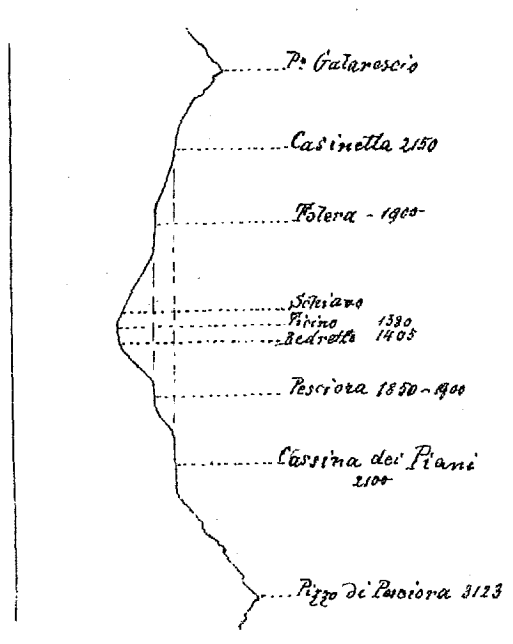


Fig. 7. Querschnitt durch Tal Bedretto. 1 : 100,000

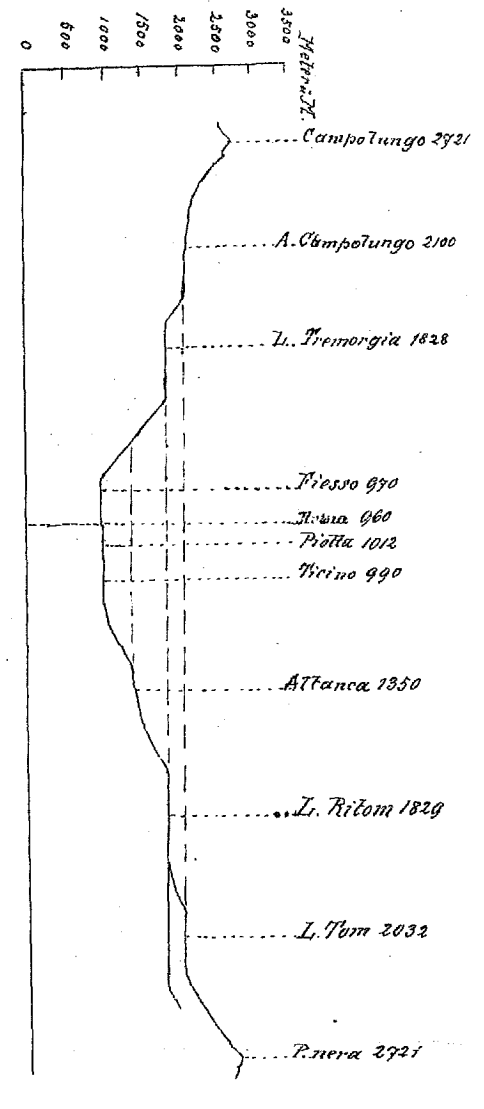


Fig. 8. Querschnitt durch die Leventina. 1 : 100,000

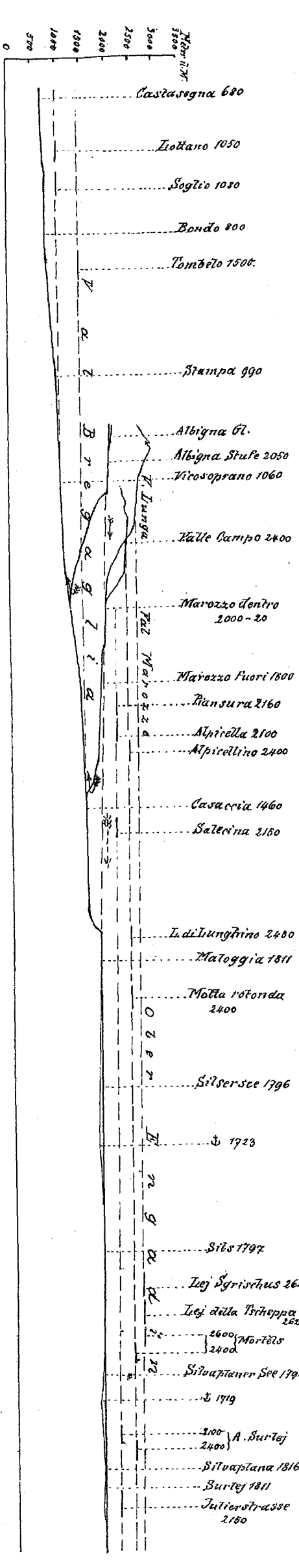
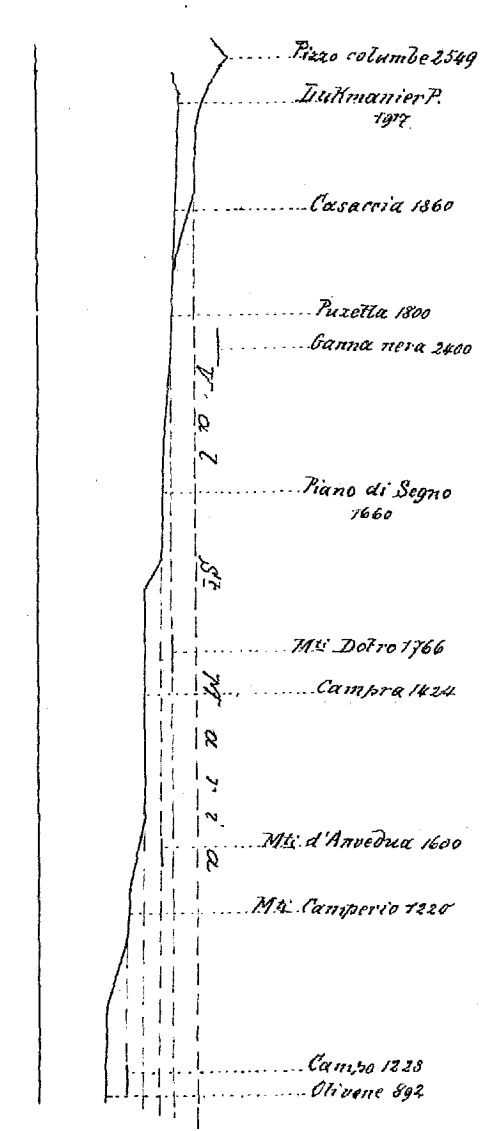


Fig. 10. Längsprofil von Tal Bregaglia, Tal Marozzo und Ober-Engadina. 1 : 100,000

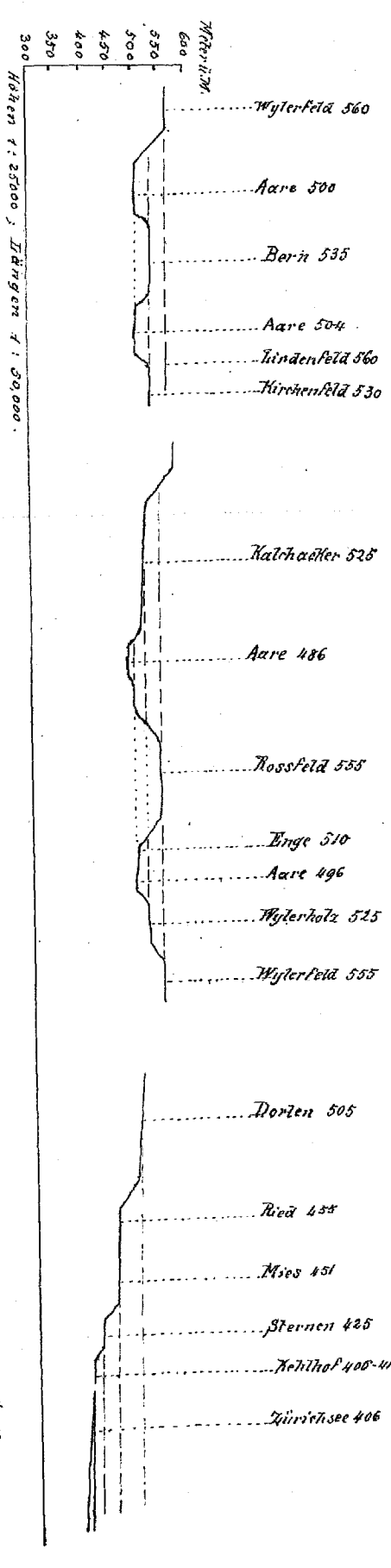


Fig. 11 & 12. Querschnitt durch die Aareserpentinen bei Bern. Höhen 1 : 2500, Längsprofil 1 : 50,000

Fig. 13. Ueberprofil bei Strafa.

Lith. u. typ. Anstalt v. J. J. Höfer, Zürich.